

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ

**Propustnost tkanin z multifilu v závislosti  
na struktuře**

**The Permeability of Multifilament Fabric in  
Dependence on the Structure**

Vedoucí práce: Ing. Jana Drašarová, PhD.

Počet stran textu: 55

Počet obrázků: 23

Počet tabulek: 12

Počet příloh: 2

LIBEREC 2008

JANA NOVOTNÁ

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne

.....

Podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Janě Drašarové, PhD. za trpělivost a optimismus a nepřeberné množství odpovědí na „hloupé“ otázky.

Děkuji manželovi za podporu, lásku a obětavost.

Děkuji rodičům a bratrovi za podporu a pomoc i za to, že to se mnou vydrželi.

Děkuji všem ostatním, kteří mě po dobu mého studia podporovali a dodávali mi sílu, když jsem to chtěla vzdát, především pak Milanovi Šimkovi a Hance Machové za přátelství v okamžicích naprostého vyčerpání psychických sil a také Radce Chvalinové za půjčení notebooku, bez nějž bych práci v předepsané formě nikdy neodevzdala.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na prozkoumání vlivu strukturních parametrů multifilové tkaniny na prodyšnost. V rámci jejího zpracování byla nejprve podrobně prostudována dosavadní teoretická základna zaměřená na téma struktury monofilu, multifilu a tkanin z něj vyrobených a také na zatím zjištěné poznatky o prodyšnosti a pórovitosti tkanin.

Dále pak byly proměřeny vzorky režných multifilových tkanin, především průměry a šířky nití v osnově a útku a velikosti pórů. Ty pak byly přepočteny na zakrytí a pórovitost a následně byly zjištěné hodnoty srovnány s naměřenou prodyšností a byly popsány zjištěné vztahy mezi zjištěnými veličinami.

### **Klíčová slova:**

multifil, multifilová tkanina, propustnost, prodyšnost, porozita

## **Abstract**

This diploma thesis is focused on exploration of influence of the multifilament fabric structure parameters on the air permeability.

At the first part there are the current theories of the structure of monofilament, multifilament and fabric and their influence on the air permeability and fabric porosity summed.

At the next - experimental part, the samples of grey multifilament fabrics were measured. The multifilament diameter was calculated, width of the multifilament in warp and weft and pores area were measured. The cover factor and porosity were calculated and these results were compared with measured values of the air permeability. The founded relations among values were described.

## **Keywords:**

multifilament, multifilament fabric, permeability, air permeability, porosity

## Seznam použitých symbolů

$A_1 [\text{m}^2]$	plocha póru typu 1
$A_2 [\text{m}^2]$	plocha póru typu 2
$A_3 [\text{m}^2]$	plocha póru typu 3
$A_4 [\text{m}^2]$	plocha póru typu 4
$A_c [\text{m}^2]$	celková plocha pórů ve střídě
$am [\text{ktex}^{3/2} \text{m}^{-1}]$	Phrixův součinitel zákrutu
$a_o [\text{m}]$	šířka průřezu osnovní nitě
$A_{sc} [\text{m}^2]$	plocha střídý vazby tkaniny
$a_u [\text{m}]$	šířka průřezu útkové nitě
$b_o [\text{m}]$	výška průřezu osnovní nitě
$b_u [\text{m}]$	výška průřezu útkové nitě
$CF_{Do} [1]$	délkový Cover factor pro osnovu
$CF_{Du} [1]$	délkový Cover factor pro útek
$CF_p [1]$	plošný Cover factor
$d [\text{m}]$	průměr kruhu
$\bar{d} [\text{m}]$	střední hodnota průměru nití ve tkanině
$D_{čekv} [\text{m}^{-1}]$	obecná dostava přepočítaná na ekvivalentní čtvercovou dostavu
$D_{člim} [\text{m}^{-1}]$	limitní dostava čtvercové tkaniny
$d_{emo} [\text{mm}]$	ekvivalentní průměr monofilu
$D_{lim} [\text{m}^{-1}]$	limitní dostava tkaniny
$d_{mo} [\text{mm}]$	průměr kruhového průřezu monofilu
$d_{mu} [\text{m}]$	průměr multifilu
$d_o [\text{m}]$	průměr osnovy
$D_o [\text{m}^{-1}]$	dostava osnovy
$D_P [\text{m}]$	průměr kruhového póru měřeného bublinkovou metodou
$d_s [\text{m}]$	substnční průměr
$D_u [\text{m}]$	dostava útku
$d_u [\text{m}]$	průměr útku
$f [1]$	stupeň provázání tkaniny
$f_m [1]$	počet fibril v multifilu
$f^m [1]$	opravný činitel
$F_p [\text{N}]$	síla odvozená od působení tlaku vzduchu
$F_Y [\text{N}]$	síla ovlivněná povrchovým napětím smáčecí kapaliny
$g [\text{m/s}^2]$	gravitační zrychlení
$h [\text{m}]$	vzdálenost mezi vlákny
$l_{mo} [\text{km}]$	délka monofilu
$L_o [\text{m}]$	délka tkaniny ve směru osnovy
$L_u [\text{m}]$	délka tkaniny ve směru útku
$m_1 [1]$	počet pórů typu 1 ve střídě vazby
$m_2 [1]$	počet pórů typu 2 ve střídě vazby
$m_3 [1]$	počet pórů typu 3 ve střídě vazby
$m_4 [1]$	počet pórů typu 4 ve střídě vazby

$m_{mo}$ [g]	hmotnot monofilu
$n$ [1]	počet vláken v průřezu monofilu
$n_{mo}$ [1]	počet ploch řezů monofilu
$n_o$ [1]	počet vazných bodů ve střídě ve směru osnovy
$n_T$ [1]	počet trojúhelníkových jednotek v průřezu multifilu
$n_u$ [1]	počet vazných bodů ve střídě ve směru útku
$P$ [%]	porozita
$p$ [m]	rozteč nití
$P_{2D}$ [%]	porozita odvozená z modifikované 2-D projekce pórů
$P_{2D(0,7)}$ [%]	porozita odvozená z modifikované 2-D projekce pórů s průměrem ze zaplnění multifilu $m_i = 0,7$
$P_{2D(OA)}$ [%]	porozita odvozená z modifikované 2-D projekce pórů s průměrem z obrazové analýzy z kolmých pohledů
$P_{2D(r)}$ [%]	porozita odvozená z modifikované 2-D projekce pórů s průměrem z obrazové analýzy z příčných řezů
$P_{BM}$ [%]	porozita odvozená od velikosti maximálních pórů měřených bublinkovou metodou
$P_{BS}$ [%]	porozita odvozená od velikosti středních pórů měřených bublinkovou metodou
$p_h$ [Pa]	tlak vyjádřený rozdílem hladin vodního sloupce v U-trubici
$P_{HB}$ [%]	Brierleyho relativní hustota
$P_{HB(0,7)}$ [%]	Brierleyho relativní hustota s průměrem ze zaplnění multifilu $m_i = 0,7$
$P_{HB(OA)}$ [%]	Brierleyho relativní hustota s průměrem z obrazové analýzy z kolmých pohledů
$P_{HB(r)}$ [%]	Brierleyho relativní hustota s průměrem z obrazové analýzy z příčných řezů
$p_o$ [m]	rozteč osnovních nití
$p_u$ [m]	rozteč útkových nití
$p_v$ [Pa]	tlak z vnější strany působící na bublinku
$P_Z$ [%]	porozita odvozená z plošného zakrytí
$P_{Z(0,7)}$ [%]	porozita odvozená z plošného zakrytí s průměrem ze zaplnění multifilu $m_i = 0,7$
$P_{Z(OA)}$ [%]	porozita odvozená z plošného zakrytí s průměrem z obrazové analýzy z kolmých pohledů
$P_{Z(r)}$ [%]	porozita odvozená z plošného zakrytí s průměrem z obrazové analýzy z příčných řezů
$R$ [m/s]	prodyšnost
$R_{\Delta p1}$ [m/s]	prodyšnost při tlakovém spádu $\Delta p_1$
$R_{\Delta p2}$ [m/s]	prodyšnost při tlakovém spádu $\Delta p_2$
$S$ [m <sup>2</sup> ]	plocha měřeného póru
$S$ [m <sup>2</sup> ]	plocha řezů monofilů v průřezu multifilu
$S^*$ [m <sup>2</sup> ]	substanční průřez
$S_c$ [m <sup>2</sup> ]	celková plocha průřezu multifilu
$S_{ct}$ [m <sup>2</sup> ]	plocha strukturní jednotky ve tkanině
$s_{mo}$ [m <sup>2</sup> ]	plocha průřezu monofilu

$S_p[m^2]$	plochy pórů ve strukturní jednotce ve tkanině
$S_T[m^2]$	plocha trojúhelníkové jednotky hexagonální soustavy vláken
$t[m]$	tloušťka tkaniny
$T[\text{tex}]$	jemnost příze
$T_\varepsilon[\text{tex}]$	celková jemnost nití ve čtvercové tkanině
$t_{mo}[\text{tex}]$	jemnost monofilu
$T_{mu}[\text{tex}]$	jemnost nezkrouceného multifilu
$T_o[\text{tex}]$	jemnost osnovních nití
$T_u[\text{tex}]$	jemnost útkových nití
$V[m^3]$	objem vláken ve strukturní jednotce
$V_c[m^3]$	celkový objem strukturní jednotky
$V_n[m^3]$	objem vláken ve tkanině
$V_t[m^3]$	objem tkaniny
$Z[\%]$	plošné zakrytí
$z[m^{-1}]$	zákrut
$Z_{(0,7)}[\%]$	plošné zakrytí s průměrem ze zaplnění multifilu $m_i = 0,7$
$Z_{(OA)}[\%]$	plošné zakrytí s průměrem z obrazové analýzy z kolmých pohledů
$Z_{(r)}[\%]$	plošné zakrytí s průměrem z obrazové analýzy z příčných řezů
$Z_o[\%]$	zakrytí tkaniny osnovou
$Z_p[\%]$	zakrytí
$Z_u[\%]$	zakrytí tkaniny útkem
$Z_W[1]$	Waltzův stupeň zakrytí
$a[\text{ktx}^{1/2}\text{m}^{-1}]$	Köchlinův součinitel zákrutu
$\gamma[\text{N/m}]$	povrchové napětí
$\gamma_e[\text{N/m}]$	povrchové napětí ethanolu
$\gamma_{mo}[\text{N/m}]$	povrchové napětí minerálního oleje
$\Delta_h[m]$	rozdíl hladin vodního sloupce v U-trubici
$\mu[1]$	zaplnění
$\pi[1]$	ludolfovo číslo
$\rho[\text{kg/m}^3]$	měrná hmotnost materiálu
$\rho_{mo}[\text{kg/m}^3]$	měrná hmotnost materiálu z něhož je vyrobený monofil
$\rho_v[\text{kg/m}^3]$	hustota vody



## Seznam použitých zkratek

P36/20	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 360 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 200 [cm <sup>-1</sup> ]
P36/25	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 360 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 250 [cm <sup>-1</sup> ]
P44/27	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 440 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 270 [cm <sup>-1</sup> ]
P44/32	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 440 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 320 [cm <sup>-1</sup> ]
K45/21	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 450 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 210 [cm <sup>-1</sup> ]
K45/26	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 450 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 260 [cm <sup>-1</sup> ]
K48/37	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 480 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 370 [cm <sup>-1</sup> ]
K48/34	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 480 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 340 [cm <sup>-1</sup> ]
A64/18	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 640 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 180 [cm <sup>-1</sup> ]
A64/26	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 640 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 260 [cm <sup>-1</sup> ]
A80/22	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 800 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 220 [cm <sup>-1</sup> ]
A80/28	multifilová tkanina v plátňové vazbě s dostavou osnovy 800 [cm <sup>-1</sup> ] a dostavou útku 280 [cm <sup>-1</sup> ]

## Obsah

<b>Prohlášení .....</b>	<b>iii</b>
<b>Poděkování .....</b>	<b>iv</b>
<b>Abstrakt .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vi</b>
<b>Seznam použitých symbolů .....</b>	<b>vii</b>
<b>Seznam použitých zkratk.....</b>	<b>x</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>13</b>
<b>Cíl práce.....</b>	<b>13</b>
<b>Struktura práce .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Rešeršní část.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Základní charakteristiky monofilu .....</b>	<b>15</b>
1.1.1 Jemnost monofilu .....	15
1.1.2 Průměr monofilu .....	16
<b>1.2 Základní charakteristiky multifilu .....</b>	<b>16</b>
1.2.1 Jemnost multifilu .....	17
1.2.2 Zákrut multifilu .....	17
1.2.3 Průměr multifilu .....	18
1.2.4 Zaplnění multifilu .....	20
<b>1.3 Základní charakteristiky multifilových tkanin .....</b>	<b>21</b>
1.3.1 Vazba multifilové tkaniny.....	21
1.3.2 Dostava tkaniny .....	24
1.3.3 Zakrytí tkaniny .....	24
1.3.4 Zaplnění tkaniny.....	26
1.3.5 Plnost tkaniny .....	26
1.3.6 Propustnost tkaniny .....	28
1.3.6.1 Prodyšnost tkaniny.....	28
1.3.7 Porozita tkaniny .....	29

1.3.7.1	Vyjádření porozity z plošného zakrytí .....	30
1.3.7.2	Modifikovaná 2-D projekce pórů .....	31
<b>2.</b>	<b>Experimentální část .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1</b>	<b>Vzorky materiálu.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2</b>	<b>Prováděné experimenty .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Měření prodyšnosti.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Měření velikosti pórů.....</b>	<b>35</b>
2.2.2.1	Měření maximální velikosti pórů bublinkovou metodou .....	35
2.2.2.2	Měření průměrné velikosti pórů bublinkovou metodou.....	37
<b>2.2.3</b>	<b>Měření rozměrů nití ve tkaninách .....</b>	<b>38</b>
2.2.3.1	Měření rozměrů nití ve tkaninách pomocí kolmých pohledů .....	38
2.2.3.2	Měření rozměrů nití ve tkaninách z příčných řezů .....	38
<b>2.3</b>	<b>Vyhodnocení a diskuze.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Zpracování naměřených dat.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Hodnocení porozity .....</b>	<b>40</b>
2.3.2.1	Porozita vyjádřená pomocí plošného zakrytí.....	42
2.3.2.2	Porozita vyjádřená pomocí modifikované 2-D projekce pórů .....	44
2.3.2.3	Brierleyho relativní hustota .....	46
2.3.2.4	Porozita naměřená bublinkovou metodou .....	47
<b>2.3.3</b>	<b>Hodnocení prodyšnosti.....</b>	<b>51</b>
<b>3.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>53</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>55</b>
 <b>Příloha 1</b>		
	<b>Výsledky statistického zpracování naměřených dat.....</b>	<b>P1</b>
 <b>Příloha 2</b>		
	<b>Grafické znázornění závislostí prodyšnosti a porozity .....</b>	<b>P7</b>

„Vědecký poznatek si musí každý sám pro sebe znovu objevit.“

Prof. Ing. Bohuslav Neckář, DrSc.

## Úvod

Propustnost vzduchu (prodyšnost), na niž je celá diplomová práce orientována, je jednou z důležitých uživatelských vlastností. Při výběru textilie či oděvního výrobku se o tuto vlastnost nezdědka podrobně zajímají také koncoví uživatelé. Při výrobě tkaniny je však prodyšnost ovlivňována mnoha faktory, jež vycházejí z technologie výroby textilie, potažmo z její struktury. Proto je potřeba již při výrobě, nebo ještě lépe již při plánování výroby kalkulovat s konečnou požadovanou prodyšností a tyto jí případně do jisté míry podrobit.

## Cíl práce

Hlavním cílem práce bylo prozkoumat a pokud možno popsat poznatky o vztahu struktury multifilových tkanin a jejich prodyšnosti, aby bylo možno zařadit predikci tohoto parametru do systému projektování.

K dosažení tohoto cíle bylo sestaveno a následně realizováno několik podcílů, jež lze v myšlenkové rovině rozdělit do dvou rovin, a to teoretický základ a experiment.

Prostředkem dosažení tohoto cíle bylo pro předložené vzorky provést měření propustností, nalézt jejich závislost na struktuře tkaniny a porovnat je se stávajícími modely. Tyto modely pak upravit, popř. navrhnout nové modely závislosti.

V oblasti teoretického základu byly zahrnuty poznatky o struktuře a vlastnostech textilních vlákenných útvarů z multifilu a multifilových tkanin, poznatky z oblasti definic a měření propustností (prodyšnosti a pórovitosti) a současné teorie zabývající se modelováním závislosti struktury tkaniny a propustností.

Do sekce experimentu pak byla zařazena příprava vzorků, měření propustností a struktury předložených vzorků pomocí obrazové analýzy. Následovalo vyhodnocení měření a nalezení závislostí mezi strukturou a propustnostmi a návrh úpravy stávajících modelů.

## **Struktura práce**

Diplomová práce je rozdělena do kapitol ve třech hlavních částech. V kapitolách rešeršní části je čtenář seznamován se základními poznatky svázanými se strukturou a vlastnostmi zkoumaných textilních útvarů a také s již existující teorií zabývající se propustnostmi tkanin. Poznatky z této části byla podepřena celá část experimentální.

Na část rešeršní navazuje část experimentální. Ta je uvedena krátkou statí o výrobě a popisu zkoumaných vzorků. Následují kapitoly, v nichž jsou popsány postupy měření a výpočtů parametrů předložených tkanin. Vyhodnocení nashromážděných dat a nalezení souvislostí mezi nimi.

Práce je uzavřena diskuzí nad dosaženými výsledky a závěrem hodnotícím průběh práce.

# 1. Rešeršní část

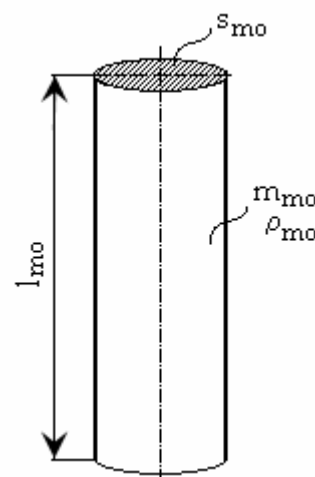
## 1.1 Základní charakteristiky monofilu

Vlákna jsou základní stavební jednotky všech textilií. U textilních vláken se dle potřeby stanovuje mnoho různých charakteristik, jako např. jejich délka, jemnost, průměr, tvar příčného řezu, měrný povrch, štihlost, zobloučkování, pevnost a tažnost apod. [1].

Tyto charakteristiky jsou podrobněji popsány v literatuře [1, str. 10 - 13]. Tato kapitola se bude zabývat jejich vymezením pro monofily.

Monofil je nekonečné vlákno (vlákno neomezené délky = hedvábí), zpravidla chemické ze syntetických polymerů. Dále se zpracovává na staplová vlákna nebo se druží, popř. zakrucuje a zpracovává ve formě multifilu.

Nejdůležitějšími charakteristikami struktury monofilu jsou jeho jemnost a průměr. Jejich popis vychází ze základních veličin, které jsou znázorněny na obrázku 1.



Obr. 1: Základní parametry monofilu

### 1.1.1 Jemnost monofilu

Jemnost monofilu se vyjadřuje jeho délkovou hmotností, tedy podílem hmotnosti vlákna k jeho délce. Hmotnost  $m_{mo}$  je možno vyjádřit jako součin plochy průřezu vlákna  $s_{mo}$ , jeho délky  $l_{mo}$  a měrná hmotnost materiálu  $\rho$ , z něhož je vlákno vyrobeno. Po jednoduché matematické úpravě jemnost vyjádříme také jako součin plochy průřezu vlákna a měrné hmotnosti materiálu vlákna. Uvedené úvahy jsou zřejmé ze vztahu (1):

$$t_{mo} = \frac{m_{mo}}{l_{mo}} = \frac{s_{mo} l_{mo} \rho_{mo}}{l_{mo}} = s_{mo} \rho_{mo} \quad (1)$$

kde  $t_{mo}$  je jemnost monofilu,  $m_{mo}$  je hmotnost monofilu,  $l_{mo}$  je délka monofilu,  $s_{mo}$  plocha průřezu monofilu a  $\rho_{mo}$  je měrná hmotnost materiálu z něhož je monofil vyroben.

### 1.1.2 Průměr monofilu

V idealizovaném případě lze tvar monofilu pokládat za válec, jehož kolmým průřezem je přesný kruh. V tomto případě pak průměr monofilu odpovídá průměru kruhu dle vztahu (2):

$$s_{mo} = \frac{\pi d_{mo}^2}{4}, \quad (2)$$

kde  $s_{mo}$  je plocha průřezu monofilu a  $d_{mo}$  je průměr kruhového průřezu monofilu ideálního válcového tvaru.

Vyjádříme-li ze vztahu (2) průměr  $d_{mo}$  získáme vztah (3):

$$d_{mo} = \sqrt{\frac{4s_{mo}}{\pi}} \quad (3)$$

Po dosazení finálního tvaru vztahu (1) do vztahu (3) získáme vztah (4):

$$d_{emo} = \sqrt{\frac{4t_{mo}}{\pi\rho_{mo}}}, \quad (4)$$

kde  $d_{emo}$  je ekvivalentní průměr monofilu,  $t_{mo}$  je jemnost monofilu,  $\rho_{mo}$  je měrná hmotnost materiálu z něhož je monofil vyroben.

Vztah popisuje závislost průměru monofilu na jeho jemnosti a měrné hmotnosti a ne na tvaru průřezu. Takto je možno vyjádřit průměr vlákna jakéhokoliv průřezu, přičemž je tato veličina dle [1] nazývána ekvivalentní průměr vlákna (resp. monofilu).

Ekvivalentní průměr vláken je průměr vlákna kruhového průřezu o stejné ploše jako má skutečné vlákno nekruhového průřezu.

## 1.2 Základní charakteristiky multifilu

Multifil je délková textilie, která vzniká ze dvou a více monofilů a to buď důstředím nebo zakroucením. Zákruty zde bývají spíše ochranné a proto bývají udělovány v relativně nízkém počtu na jednotku délky.

Základními charakteristikami pro popis struktury multifilu jsou stejně jako u monofilů jemnost a průměr. Protože se ale jedná o vyšší strukturní jednotku jsou tyto charakteristiky svázány s jinými neméně významnými veličinami. Jsou jimi především zaplnění, zákrut a seskání multifilu.

### 1.2.1 Jemnost multifilu

Jemnost multifilu udává poměr hmotnosti a délky multifilu. Při jejím výpočtu vycházíme ze znalosti jemnosti monofilu popsané vztahem (1). Z této jemnosti pak vypočteme jemnost multifilu v případě, že jsou jednotlivé monofily uspořádány v rovnoběžný svazek (nejsou zakrouceny) dle vztahu (5):

$$T_{mu} = t_{mo} \cdot n, \quad (5)$$

kde  $T_{mu}$  je jemnost nezkrouceného multifilu,  $t_{mo}$  je jemnost monofilu a  $n$  je počet monofilů v průřezu multifilu.

### 1.2.2 Zákrut multifilu

Zákrutem rozumíme zakroucení vláken ve směru šroubovice kolem osy příze vyjádřené počtem celých otáček na délku 1 m. Zákrut je možno vyjádřit dvěmi základními způsoby, jednak pomocí Köchlinova zákrutového koeficientu (vztah 6), jednak díky Phrixovu zákrutovému koeficientu (vztah 7):

$$z = \frac{\alpha \cdot 31,6}{\sqrt{T}}, \quad (6)$$

kde  $z$  je počet zákrutů [ $m^{-1}$ ],  $\alpha$  je Köchlinův součinitel zákrutu a  $T$  je jemnost příze [tex].

$$z = am \frac{100}{\sqrt[3]{T^2}}, \quad (7)$$

kde  $am$  je Phrixův součinitel zákrutu.

Köchlinův vztah (6) vychází z teoretického šroubovicového modelu uložení vláken ve struktuře multifilu. Phrixův vztah (7) je upraven tak, aby s vyšší jemností příze došlo k poněkud rychlejšímu přírůstku zákrutů ve srovnání se závislostí (6). Požadavek rychlejšího přírůstku je ovlivněn především pevnostním hlediskem. Pevnost multifilu je dána v převážné míře jeho jádrem, jehož podíl relativně,



vůči celkovému průřezu multifilu s rostoucí jemností klesá. S rostoucí délkou multifilu je využíváno nižšího zákrutového koeficientu[2].

Podle [3] dochází při zvyšování zákrutového koeficientu, tedy při vyšší hodnotě zákrutu k menší deformaci průřezu multifilu ve tkanině. Tento jev pak velmi výrazně ovlivňuje další strukturní parametry multifilových tkanin.

### 1.2.3 Průměr multifilu

Průměr multifilu je ovlivněn především průměrem monofilu, počtem fibril a zákrutem. Velmi významný vztah je mezi průměrem, resp. zaplněním multifilu (které je závislé na vnitřním uspořádání, tedy jak jsou k sobě navzájem „ustaveny“ jednotlivé monofily) a zákrutem. Závisí tedy na tom, zda je délkový vlákenný útvar zakroucený či nikoliv, tímto se však zabývá blíže až kapitola 1.2.3.

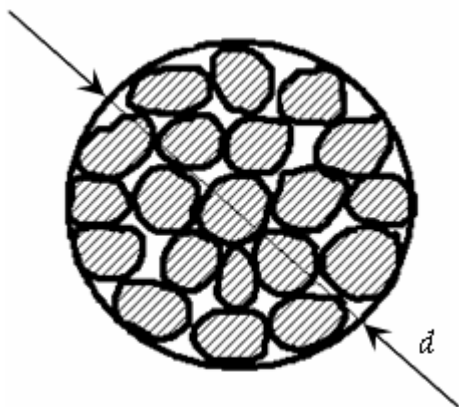
Pro zjednodušené vyjádření průměru multifilu, pomineme-li vliv zákrutu a nahodilého uspořádání vláken vycházíme z několika základních předpokladů. Prvním z nich je teoretické zaplnění  $\mu = 1$ , kdy uvažujeme nulový prostor mezi jednotlivými monofily, jak je znázorněno na obrázku 2b. Mluvíme [1] o substančním průřezu, jehož plochu  $S^*$  je možno vyjádřit podle vztahu (8):

$$S^* = n_{mo} s_{mo} , \quad (8)$$

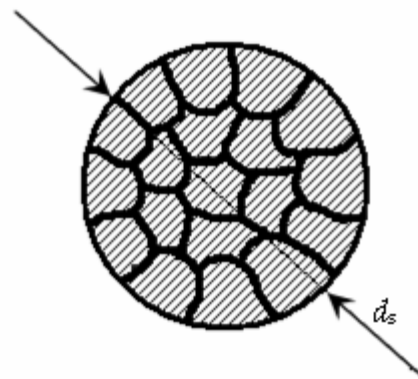
kde  $s_{mo}$  je plocha řezu monofilu vypočtená dle vztahu (2) a  $n$  je počet ploch řezů monofilů v řezu multifilu. Odtud pak vypočteme substanční průměr  $d_s$  dle vztahu (9):

$$d_s = \sqrt{\frac{4S^*}{\pi}} , \quad (9)$$

kde  $S^*$  je plocha substančního průřezu multifilu a  $d_s$  je substanční průměr.



Obr. 2a: Průměr multifilu



Obr. 2b: Substanční průměr multifilu

Průměr multifilu znázorněný na obrázku 2a zahrnující póry mezi vlákny je možno vyjádřit pomocí teoretického zaplnění odvozeného z hexagonální struktury uspořádání vláken v multifilu. Hexagonální vlákenná struktura popisuje řez paralelním svazkem válcových vláken znázorněný na obrázku 3a. Osy vláken jsou ve vrcholech pravidelné šestiúhelníkové sítě. Jednotkou struktury je rovnostranný trojúhelník, zvětšený na obrázku 3b. Válcová vlákna mají průměr  $d$  a jsou od sebe vzdálena  $h$ . Plocha trojúhelníku  $S_T$  je vyjádřena vztahem (10):

$$S_T = \frac{(d+h)^2 \cos 30^\circ}{2} = \frac{(d+h)^2 \sqrt{3}}{4} \quad (10)$$

[1]

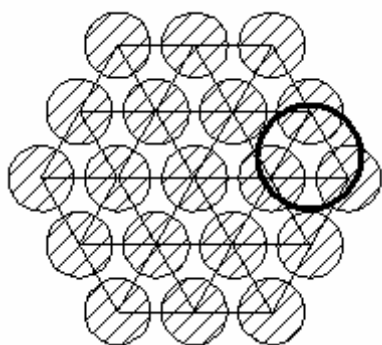
Známe-li počet uvedených trojúhelníkových jednotek  $n_T$  v průřezu multifilu, pak můžeme vypočítat celkovou plochu průřezu  $S_c$ , jak uvádí vztah (11):

$$S_c = S_T \cdot n_T \quad (11)$$

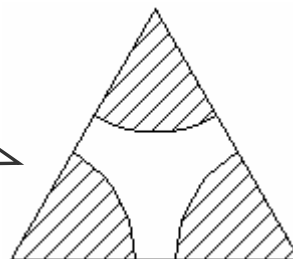
Odtud pak, obdobně jako v kapitole 1.1.2, vyjádříme ekvivalentní průměr multifilu vztahem (12):

$$d_{mu} = \sqrt{\frac{4S_c}{\pi}}, \quad (12)$$

kde  $d_{mu}$  je průměr multifilu.



Obr. 3a: Hexagonální vlákenná soustava



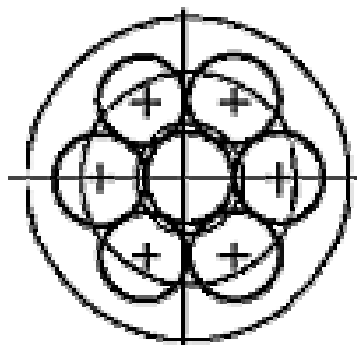
Obr. 3b: Detail strukturální jednotky

#### 1.2.4 Zaplnění multifilu

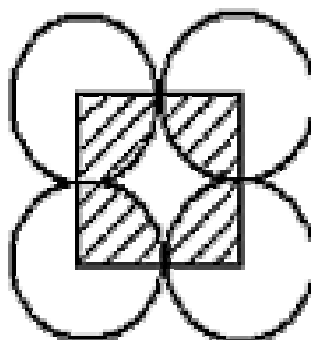
Zaplnění lze určit několika způsoby. Je možné počítat zaplnění z podílů objemů či ploch:

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{S}{S_c}, \quad (13)$$

Tyto možnosti jsou blíže popsány v literatuře [1] na stranách 15 a 16. Již dříve bylo ukázáno [4], že uspořádání vláken v příčném průřezu multifilu odpovídá válcové struktuře. Vznikly tak idealizované modely uspořádání vláken ve struktuře průřezu multifilu. Tato představa je znázorněna na obrázcích 4a a 4b, kde je velmi dobře znatelné uspořádání jednotlivých monofilů tak, že vlákna tvoří jakési vrstvy. Modely vychází z poznatků [5], že vlákna v multifilu mají již při minimálních dostředivých silách tendenci zaujímat maximálně uspořádanou strukturu. Na obrázku 4a je znázorněno uspořádání, kdy jedno vlákno tvoří střed příze a další vrstvy jsou uspořádány soustředně kolem něj. Na obrázku 4b je patrné čtvercové uspořádání vláken v průřezu multifilu.



Obr. 4a: Válcová struktura se středovým vláknem [6]



Obr. 4b: Válcová struktura čtvercového uspořádání [3]

Srovnáním obrázků 3a a 4a zjistíme, že se jedná o shodné uspořádání vláken, pouze ve druhém případě jde o průřez multifilu z limitním (maximálním možným) zaplněním. Je tedy možno toto zaplnění vypočítat z rozdílu ploch elementární strukturální jednotky znázorněné na obrázku 3b. Vyšrafovaná plocha vláknenných řezů tvoří dohromady polovinu kruhu s průměrem  $d$ . Její velikost je  $S = \pi d^2/8$ . Zaplnění této struktury je rovno zaplněním analyzovaného trojúhelníku. Při limitním zaplnění získáme uvedenými úvahami hodnotu zaplnění  $\mu = 0,7$ , která je dle [5] doporučena pro multifily a tkaniny z nich vyrobené. Známe-li zaplnění multifilu můžeme vypočítat jeho průměr (pakliže uvažujeme kruhový průřez) dosazením do vztahu  $d = \sqrt{4T/\pi\mu\rho}$ . Pomocí ekvivalentní úvahy lze vypočítat zaplnění válcové struktury čtvercového uspořádání.

### **1.3 Základní charakteristiky multifilových tkanin**

Tkanina je plošná textilie zpravidla tvořená dvěma na sebe kolmými soustavami nití spojenými vzájemným provázáním. Podélná soustava nití rovnoběžná s pevnými kraji tkaniny je osnova, příčná soustava je útek [7].

#### **1.3.1 Vazba multifilové tkaniny**

Vazba tkaniny je způsob provázání (křížení) nití ve tkanině. U běžných tkanin existují jen dva základní vazební prvky. Jsou jimi osnovní a útkový vazný bod. Méně běžné jsou tkaniny, u kterých se kříží osnovní nitě navzájem (např. perlinkové tkaniny) [8].

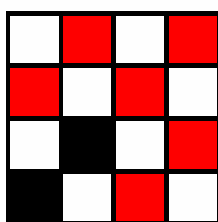
Vazby tkanin zakreslujeme spolu s technickou vzornicí na vzornicový papír, což je rastr, kde podélné mezery představují osnovní niti (pořadí zleva doprava) a příčné mezery zobrazují útky (číslujeme je zdola nahoru). Každý čtvereček vzornicového papíru je jeden vazný bod. Zakreslují se osnovní vazné body, útkové vazné body nevykreslujeme [7].

Vazby tkanin rozeznáváme základní, odvozené a složené. V práci byly zkoumány pouze tkaniny v základních vazbách, proto budou uvedeny podrobněji. Základní vazby jsou nejjednodušší vazby, které se uplatňují samostatně nebo

tvoří základ pro odvozené nebo pro jiné složitější vazby. Rozlišují se tři základní druhy: plátňové, keprové a atlasové[9].

### Plátňová vazba

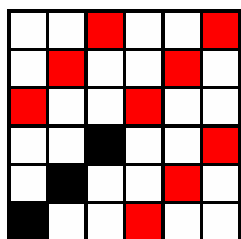
Plátňová vazba (obrázek 5) je nejjednodušší a nejhustěji provazující vazba. Střída vazby je tvořena dvěmi osnovními a dvěmi útkovými nitěmi. Tedy čtyřmi vaznými body, které se pravidelně střídají. Tkanina je oboustranná. Husté provázání plátna zajišťuje dobré zaplnění tkaniny v obou směrech[9].



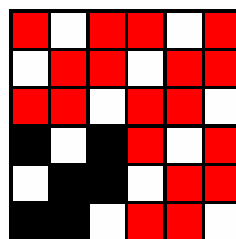
Obr. 5: Plátňová vazba

### Keprová vazba

Keprová vazba tvoří na tkanině šikmé řádky směrem zleva doprava nebo zprava doleva. Pravý směr řádků označujeme písmenem „Z“, levý písmenem „S“, přičemž střední část písmene vyjadřuje směr řádků. Při stejné hustotě osnovy a útku probíhají řádky pod úhlem 45°. Při hustší postavě osnovy jsou řádky strmější, při hustší postavě útku je sklon řádků mírnější. Rozlišují se kepry osnovní (obrázek 6a) a útkové (obrázek 6b). Osnovní kepr je kepr v němž převládají osnovní vazné body. V útkovém kepru analogicky převládají útkové vazné body. Nejmenší počet nití ve střídě po osnově a po útku je tři[9]. Střída keprové vazby je vždy čtvercová.



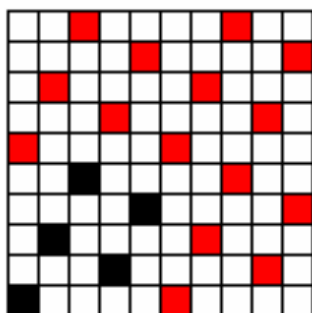
Obr. 6a: Třívazný útkový kepr



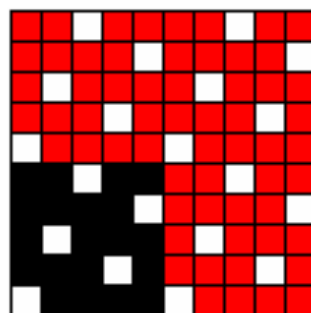
Obr. 6b: Třívazný osnovní kepr

## Atlasová vazba

Atlasová vazba vytváří na tkanině hladký povrch s nevýrazným jemným šikmým řádkováním různého sklonu. Je to vazba, jejíž vazné body jsou ve střídě pravidelně rozloženy a nesmějí se dotýkat. Tedy u osnovního atlasu se nedotýkají útkové vazné body a naopak. Atlas, v němž převládají osnovní vazné body, je osnovní atlas (obrázek 7a). U útkového atlasu (obrázek 7b) převládají útkové vazné body [9]. Nejmenší atlas je pětivazný.



Obr. 7a: Pětivazný útkový atlas



Obr. 7b: Pětivazný osnovní atlas

## Odvozené a složené vazby

Odvozené vazby vznikají ze základních vazeb a tkanině dodávají odlišný vzhled a strukturu.

Odvozeniny plátnové vazby vznikají přidáním vazných bodů na více osnovních či útkových nití (ryps), nebo současně v obou směrech (panama). Rypsy se vyznačují příčným nebo podélným vroubkováním. Pro panamu je charakteristické provázání do čtverců nebo obdélníků.

Odvozené keprové vazby vzniknou ze základních keprů přidáním dalších vazných bodů, řádků, změnou řádkování, změnou úhlu řádkování a dalšími způsoby. Jsou to vazby útkové, oboustranné i osnovní.

Rovněž odvozeniny atlasové vazby vznikají ze základních atlasů přidáním vazných bodů nebo sestavením odlišné vazby podle zásad atlasové vazby. I atlasové vazby jsou útkové, oboustranné či osnovní.

Do skupiny složených vazeb řadíme takové vazby, které dávají tkanině odlišný vzhled, jiné vzorování, specifické vlastnosti oproti vazbám základním a odvozeným [9].

### 1.3.2 Dostava tkaniny

Dostavou tkaniny rozumíme počet nití každé dílčí soustavy na jednotku délky, obvykle na 10cm. Je-li tkanina vyrobena z nití obdobných průměrů v osnově i v útku a rovnají se i dostavy obou soustav, pak se jedná o tkaninu čtvercovou. Dostava se běžně udává zlomkem  $D_o/D_u$ , kde  $D_o$  je dostava osnovy a  $D_u$  je dostava útku. U multifilových tkanin se dostava určuje stejným způsobem jako u jiných typů tkanin.

### 1.3.3 Zakrytí tkaniny

Existuje několik způsobů vyjádření parametrů zakrytí tkaniny [8].

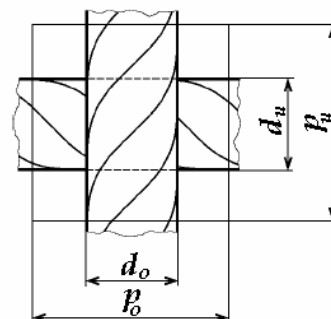
Plošný koeficient zakrytí udává poměr plochy zakryté nitěmi k celkové ploše textile nebo jejího vazného prvku. Zakrytí jednou soustavou nití (obrázek 8) vyjadřuje poměr plochy osnovní nebo útkové nitě k vaznému prvku:

$$Z_o = \frac{d_o \cdot p_u}{p_o \cdot p_u} = \frac{d_o}{p_o} = d_o \cdot D_o, \quad (14)$$

$$Z_u = \frac{d_u \cdot p_o}{p_o \cdot p_u} = \frac{d_u}{p_u} = d_u \cdot D_u, \quad (15)$$

kde  $Z_o$  ( $Z_u$ ) je zakrytí osnovou (útkem),  $D_o$  ( $D_u$ ) je dostava osnovy (útku),  $d_o$  ( $d_u$ ) je průměr osnovních (útkových) nití a  $p_o$  ( $p_u$ ) je rozteč nití ve tkanině ve směru osnovy (útku).

Pomocí zakrytí jednotlivými soustavami nití je pak možno vyjádřit zakrytí dvěma soustavami nití  $Z$ . Plocha vazného prvku je  $p_o \cdot p_u$ , plocha zakrytá osnovou je  $d_o \cdot p_u$ , útkem  $d_u \cdot p_o$ , dvakrát (současně osnovní i útkovou nití) zakrytá plocha  $d_o \cdot d_u$  se počítá jen jednou, tedy:



Obr. 8: Zakrytí vazného prvku [8]

$$Z = \frac{p_u \cdot d_o + p_o \cdot d_u - d_o \cdot d_u}{p_o \cdot p_u} = \frac{d_o}{p_o} + \frac{d_u}{p_u} - \frac{d_o \cdot d_u}{p_o \cdot p_u} = Z_o + Z_u - Z_o \cdot Z_u \quad (16)$$

Waltzův stupeň zakrytí  $Z_W$  souvisí s tzv. setkatelností. Přibližná rovnost platí jen v případě malého rozdílu v průměru osnovy a útku. Je definován vztahem (17):

$$Z_W = (d_o + d_u)^2 \cdot D_o \cdot D_u = \frac{4\bar{d}^2}{p_o \cdot p_u} \approx 4 \cdot Z_o \cdot Z_u, \quad (17)$$

$$\bar{d} = \frac{d_o + d_u}{2}, \quad (18)$$

kde  $\bar{d}$  je střední hodnota průměru nití ve tkanině.

Cover factor je hodnocení plošného zakrytí definované Peircem. Dosud jsme vycházeli z obtížně určitelné veličiny  $d$ , což vedlo ke snaze objektivizovat způsob určování zakrytí. Průměr nitě je nahrazen odmocninou z délkové hmotnosti a Cover factor je definován dvěma způsoby jako délkový nebo plošný.

Délkový Cover factor je možno vyjádřit vztahem (19):

$$CF_{Do,u} = D_{o,u} \cdot \sqrt{T_{[Mtex]_{o,u}}}, \quad (19)$$

kde  $CF_{Do,u}$  je délkový Cover factor.

Není to už bezrozměrné vyjádření zakrytí. Výsledek je ovlivněn parametry  $\mu, \rho$  (zaplněním nitě a měrnou hmotností vlákenného materiálu).

Cover factor plošný je definován podobně jako zakrytí:

$$CF_P = CF_{Do} + CF_{Du} - CF_{Do} \cdot CF_{Du}, \quad (20)$$

Peirce zde mimoto zanedbal hodnotu součinu (poslední člen), což je ale možné jenom při relativním vyjádření, tedy pokud je  $CF$  v intervalu  $\langle 0,1 \rangle$  [8].

Ve všech uvedených modelech existují zjednodušující předpoklady, pro něž se stávají jejich výsledky teoretickými hodnotami, jež je nutno dále korelovat. Především zakrytí jednou a dvěma soustavami nití a Waltzův stupeň zakrytí počítají s kruhovým průřezem nitě, což u multifilů vlivem značných deformací průřezů není možné zanedbat. Teoretické korekce vůči tomuto předpokladu jsou podrobně popsány v [5], [10] a [3] nebo je možno průměry nahradit rozměry průřezů nití zjištěných pomocí obrazové analýzy. V případě zakrytí vyjádřeného pomocí Cover factoru mohou vznikat značné nepřesnosti, pokud není známa jemnost nití a



tato se počítá na základě jiných parametrů příze. U multifilů je možno používat teoretické limitní zaplnění multifilu  $\mu = 0,7$ , jak bylo uvedeno v kapitole 1.2.3, avšak i zde pak dochází k nepřesnostem, které vycházejí z teoretických modelů chování vláken v průřezu nití.

### 1.3.4 Zaplnění tkaniny

Další poměrnou veličinou, kterou lze použít při kvantifikaci struktury tkaniny je zaplnění tkaniny. Zaplnění udává poměr objemu vláken ku celkovému objemu textilie nebo jejího vazného prvku.

Zde vystačíme při využití průměru nitě  $d$  s jediným způsobem vyjádření, stanovujícím poměr objemu nitě k odpovídajícímu objemu plošné textilie:

$$\mu = \frac{V_n}{V_t} = \frac{\pi(d_o^2 \cdot L_o + d_u^2 \cdot L_u)}{4 \cdot p_o \cdot p_u \cdot t}, \quad (21)$$

kde  $L_o, L_u$  jsou délky nití ve směru osnovy, resp. útku a  $t$  je tloušťka tkaniny, přičemž u jednoduchých (jednovrstvých) vazeb tkanin s podobnou hodnotou zvlnění osnovních a útkových nití platí, že  $t \approx d_o + d_u$ . Při existenci uvedené přibližné rovnosti, hovoříme o tzv. vyrovnané tkanině.

I v tomto případě by bylo možné nahradit problematický průměr nitě podobně problematickou odmocninou z délkové hmotnosti nitě  $T$  [8].

### 1.3.5 Plnost tkaniny

Struktura tkaniny je též často charakterizována plností. Plnost tkaniny  $H$  je poměr konkrétní dostavy k limitní, maximální dosažitelné dostavě. Definována může být samostatně pro osnovu a útek:

$$H = \frac{D_{o,u}}{D_{o,u \text{ lim}}} \quad (22)$$

Obě dostavy ale nejsou na sobě nezávislé, proto byla nalezena hodnota, vyjadřující plnost tkaniny celkově. Podle Brierleyho [11] je možné převést dostavu nečtvercové tkaniny na ekvivalentní dostavu čtvercovou a „Brierleyho plnost“ může být vyjádřena hodnotou:

$$HB = \frac{D_{čekv}}{D_{\epsilon \text{ lim}}}, \quad (23)$$

kde  $D_{čekv}$  je obecná dostava přepočítaná na ekvivalentní čtvercovou dostavu a  $D_{\epsilon \text{ lim}}$  je limitní dostava čtvercové tkaniny.

Limitní dostava čtvercové tkaniny pro plátňovou vazbu je vyjádřena vztahem (24):

$$D_{\epsilon \text{ lim}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot \bar{d}}, \quad (24)$$

kde  $\bar{d} = \frac{d_o + d_u}{2}$  je střední průměr nití. Odvození vztahu (24) je podrobně popsáno např. v literatuře [5].

Limitní dostavu čtvercové tkaniny je podle Brierleyho možné definovat jako součin dostavy osnovy a dostavy útku (vztah 25), přičemž přepočet vychází z mnoha experimentů a z úvahy, že na proces tkaní má větší vliv dostava útku než dostava osnovy a proto je každá z těchto hodnot umocněna jiným exponentem odpovídajícím její významnosti.

$$D_{čekv} = D_o^{2/5} D_u^{3/5}, \quad (25)$$

Vztah (25) popisuje závislost uvedených veličin v případě, že jsou jemnosti osnovních i útkových nití totožné. V případě, že tomu tak není je potřeba do výpočtu zahrnout přepočet:

$$D_{\epsilon \text{ lim}} = \left( D_o^{T_o/T_\epsilon} \right)^{2/5} \left( D_u^{T_u/T_\epsilon} \right)^{3/5}, \quad (25a)$$

kde  $T_\epsilon = T_o^{2/5} T_u^{3/5}$  je jemnost nití pro výpočet čtvercové tkaniny.

Při jiné než plátňové vazbě lze dosáhnout hustší tkaniny a tedy i vyšší čtvercové dostavy. Přepočet se provádí dle vztahu (26):

$$D_{\epsilon \text{ lim}} = D_{\epsilon \text{ lim}} \cdot f^m \quad (26)$$

Opravný činitel  $f^m$  zachycuje vliv druhu vazby dvěma parametry;  $f$  je stupeň provázání tkaniny, vyjadřující měrný počet průchodů útku z rubu na líc a naopak. Je-li  $n_u$  počet řádků (útků) ve střídě, pak platí:

$$f = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{\text{počet zakřížení v řádku}}{\text{počet vazných bodů v řádku}}} \quad (26a)$$

$m$  je doporučeno pro kepry 0,39; pro atlasy 0,42.

### 1.3.6 Propustnost tkaniny

Propustnost je vlastnost textilie udávající množství nebo velikost látky, která projde textilií za jednotku času při předem stanovených podmínkách. Rozlišujeme propustnost tkanin pro tekutiny, pevné látky a teplo, přičemž tekutiny dále dělíme na kapaliny a plyny. Propustnosti pevných látek jsou významným parametrem především u technických textilií. Propustnosti plynů, kapalin a tepla mají svůj význam i u textilií oděvních. Propustnost plynů, především pak vzduchu bývá obecně nazývána prodyšností.

#### 1.3.6.1 Prodyšnost tkaniny

Prodyšnost je schopnost plošné textilie propouštět vzduch za stanovených podmínek. Je definována jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo zkušebním vzorkem při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu [12].

Prodyšnost materiálů ovlivňují vlastnosti jejich struktury a druh úpravy. Prodyšnost textilií je závislá na jejich tloušťce a objemové hmotnosti, vlhkosti, počtu vrstev a na tloušťce vzduchových vrstev mezi jednotlivými tloušťkami oděvu. Jak se zvětšuje tloušťka textilie (při stálé objemové hmotnosti), zmenšuje se počet průchozích pórů a tím klesá prodyšnost materiálu. Prodyšnost textilií se rovněž snižuje s růstem jejich vlhkosti. Snížení se vysvětluje zaplněním póru kapalinou a nabobtnání vláken, které brání průchodu vzduchu materiálem..

### 1.3.7 Porozita tkaniny

Porozita je jednou z významných charakteristik plošných textilií a proto je jí v rámci výzkumů věnována značná pozornost. Porozita má souvislost např. s propustností vzduchu (prodyšnost), světla, tepla (viz. kapitola 1.3.6). Nejdůležitější poznatky dotýkající se tohoto tématu budou podrobněji rozvedeny v následujících odstavcích.

Na porozitu, jako na vlastnost popisující strukturální charakteristiky tkaniny je možno pohlížet z několika stran. Tyto různé pohledy jsou schématicky znázorněny na obrázku 9.



Obr. 9: Rozdělení porozity

Póry uvnitř textilních vláken jsou z hlediska prodyšnosti jednoznačně zanedbatelné jednak proto, že neprocházejí naskrz textilií a jednak pro svoji zanedbatelnou velikost. Textilie proto bývá uvažována jako biporézní struktura [13].

Prodyšnost jedné vrstvy textilie je tedy do jisté míry ovlivněna póry mezi vlákny uvnitř nití. Hlavní podíl na hodnotách prodyšnosti však nesou póry mezi-nitné. Obecně lze za póry v textilií považovat všechny prostory uvnitř této textilie, které jsou za běžných podmínek, kdy je textilie obklopena vzduchem vyplněny plynnou fází, resp. vzduchem.

Porozita vyjadřuje podíl pórů vzhledem k celkovému objemu textilního útvaru. Bývá vyjadřována poměrným číslem z intervalu  $\langle 0;1 \rangle$ , nebo v procentech v intervalu  $\langle 0;100 \rangle$ .

Porozita takto chápána však není z hlediska hodnocení prodyšnosti textilních materiálů zcela dostatečná. Vypovídá pouze o tom, kolik vzduchu je v textilií obsaženo, ale nevypovídá nic o jeho rozložení – o distribuci pórů, jejich typu, tvaru, vzájemném uspořádání apod. [13]. Stejný objem vzduchu může být v několika málo velkých pórech, nebo v množství malých pórů [1].

Porozita může být stanovena z podílů objemů či měrných hmotností nebo z plošného zakrytí textilie, přičemž existuje několik různých principů stanovení plochy pórů či plochy zakryté nitěmi. Blíže jsou uvedené principy vyloženy v literatuře [14].

Obecně je možno porozitu vyjádřit jako podíl plochy pórů ve strukturní jednotce daných rozměrů  $S_p$  k velikosti plochy  $S_{ct}$  této strukturní jednotky:

$$P = \frac{S_p}{S_{ct}} \quad (27)$$

Pro vyjádření plochy pórů je možno vycházet z různých teorií, které se opírají o různé pohledy na tkaninu. Zatímco při klasickém vyjádření zakrytí (viz. kapitola 1.3.3) se předpokládá tkanina jako plochý dvojrozměrný útvar a póry jsou zde uvažovány jako čtverce či obdélníky o určité ploše, zde je více přihlíženo k prostorovému uspořádání jednotlivých přízí, resp. multifílů ve struktuře tkaniny. Tyto pohledy jsou blíže popsány v následujících odstavcích.

#### 1.3.7.1 Vyjádření porozity z plošného zakrytí

Porozita je vyjádřena jako doplněk k zakrytí tkaniny, přičemž zakrytí tkaniny může být v tomto případě koncipováno z více různých pohledů, jak bylo uvedeno v kapitole 1.3.3. Je-li porozita  $P$  uvažována jako doplněk obecného zakrytí  $Z_p$ , pak ji můžeme vyjádřit vztahem:

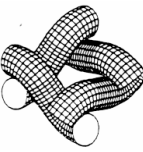
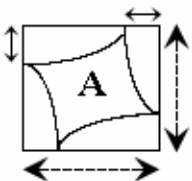
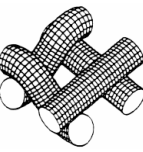
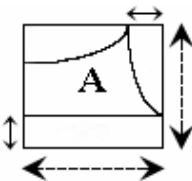
$$P = 1 - Z_p \quad (28)$$

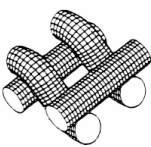
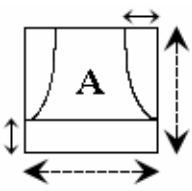
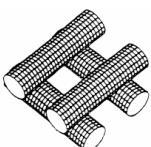
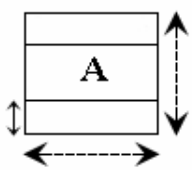
Zakrytí je pak možno vyjádřit zmíněnými způsoby popsány v kapitole 1.3.3. Nejvhodnější se jeví použití koeficientu plošného zakrytí (vztah 16).

### 1.3.7.2 Modifikovaná 2-D projekce pórů

Výše uvedené teorie vyjádření plochy pórů jsou postaveny na předpokladu, že jediný existující pór ve tkanině je ten, jenž získáme kolmou projekcí tkaniny a tudíž, že vzduch může proudit pouze takovými póry. To by však u hustě dostavených tkanin znamenalo, že skrz ně vzduch neproudí. Protože tato teorie nekoresponduje se skutečností byla vyvinuta teorie nová, která lépe odpovídá platným dějům. Tímto se ve své práci podrobně zabýval Gooijer [15]. Svou teorii přitom postavil na znalosti Backerových čtyř typů pórů (tabulka 1, sloupec 2.). Pomocí těchto čtyř typů pórů je možné sestavit jakoukoliv vazbu tkaniny. Jsou zde uvažovány nitě vzájemně se provazující ve tkanině jako válce. Při pohledu na pór jsou pak do jeho plochy zahrnuty také dotykové plochy mezi vzduchem a provazujícími nitěmi. Při prozkoumání jednotlivých typů provázání ve tkanině pak Gooijer odvodil kolmé průměty (tabulka 1, sloupec 3.) Backerových pórů a k nim sestavil výpočet otevřených ploch těchto pórů (tabulka 1, sloupec 4.).

Tab. 1: Typy pórů podle Backera a výpočet jejich plochy [5]

	typ póru (dle Backe-	kolmý průmět pórů	Otevřená plocha póru
typ 1			$A_1 = p_o p_u - \frac{\pi}{4} d_u \left( p_o - \frac{d_o}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_o \left( p_u - \frac{d_u}{2} \right) \quad (29)$
typ 2			$A_2 = p_o p_u - \frac{\pi}{8} d_u \left( p_o - \frac{d_o}{2} \right) - \frac{\pi}{8} d_o \left( p_u - \frac{d_u}{2} \right) - \frac{d_o}{2} p_u \quad (30)$

typ 3			$A_3 = p_o p_u - \frac{d_o}{2} p_u - \frac{\pi}{4} d_u \left( p_o - \frac{d_o}{2} \right) \quad (31)$
typ 4			$A_4 = p_o p_u - p_u d_o \quad (32)$

Ve vztazích uvedených v tabulce 1 jsou  $A_o$  a  $A_u$  rozteče mezi osnovními a útkovými nití,  $d_o$  a  $d_u$  jsou průměry osnovních a útkových nití.

Modely pórů typu 2, 3 a 4 mohou mít ve vazbě tkaniny jinou orientaci polohy, proto musí být tato změna polohy zohledněna při výpočtu změnou indexování.

S využitím vztahů (29 až 32) pak můžeme porozitu  $P$  určit jako podíl celkové plochy všech pórů ve střídě vazby  $A_c$  a celkové plochy  $A_{sc}$  střídě vazby tkaniny:

$$P = \frac{A_c}{A_{sc}}, \quad (33)$$

$$P = \frac{(m_1 A_1 + m_2 A_2 + m_3 A_3 + m_4 A_4)}{p_o n_o p_u n_u}, \quad (34)$$

kde  $n_o$  a  $n_u$  jsou počty vazných bodů ve střídě ve směru osnovy a ve směru útku a  $m_1 - m_4$  jsou počty pórů typu 1 - 4 obsažených ve střídě vazby. Musí tedy platit vztah (35):

$$\sum_{k=1}^4 m_k = n_o n_u \quad (35)$$

## 2. Experimentální část

### 2.1 Vzorky materiálu

Experiment byl prováděn na vzorcích rezných (neupravených) polyesterových multifilových tkanin, které byly vyrobeny ve firmě Spolsin spol. s r.o. v České Třebové převážně pracovníky firmy za krátké asistence diplomantek (včetně autorky práce) z Technické univerzity v Liberci. K jejich výrobě byl použit vzorovací stávek CCI – SL8900 (obrázek 10).



Obr. 10: Vzorovací stávek CCI – SL8900

Vzorky byly vyráběny dle zadaných požadavků ve dvou sériích, které se liší jemnostmi osnovních a útkových nití. V každé sérii byly utkány vždy dvě tkaniny v plátnové, atlasové a keprové vazbě a to tak, aby jedna z dvojice tkanin odpovídala zvyklostem výroby firmy a druhá byla vyrobena s co největší dostavou. Bylo žádoucí, aby tkaniny jedné skupiny měly podobnou plnost. Parametry všech zkoumaných tkanin jsou znázorněny v tabulce 2, kde jsou ve 4. a 5. sloupci vypsány parametry osnovních a útkových nití, přičemž  $t$  [tex] je jemnost nití,  $f_m$  je počet fibril v multifilu,  $Z$  [m<sup>-1</sup>] je zákrut osnovních nití a  $NR$  je označení, že byl materiál provířen vzduchem.



Tab. 2: Použité vzorky

	Vazba	Označení vzorku	D <sub>o</sub> [cm <sup>-1</sup> ]	D <sub>u</sub> [cm <sup>-1</sup> ]	Osnovní nitě $t$ [tex]/ $f_m$ /Z [m <sup>-1</sup> ]	Útkové nitě $t$ [tex]/ $f_m$ *1NR
Série č. 1	$P \frac{1}{1}$	P44/27	440	270	7,8 / 24 / 300	7,5 / 36 * 1
	$P \frac{1}{1}$	P44/32	440	320	7,8 / 24 / 300	7,5 / 36 * 1
	$K \frac{2}{1}$	K48/34	480	340	7,8 / 24 / 300	7,5 / 36 * 1
	$K \frac{2}{1}$	K48/37	480	370	7,8 / 24 / 300	7,5 / 36 * 1
	$A \frac{4}{1}(3)$	A80/22	800	220	7,8 / 24 / 300	7,5 / 36 * 1
	$A \frac{4}{1}(3)$	A80/28	800	280	7,8 / 24 / 300	7,5 / 36 * 1
Série č. 2	$P \frac{1}{1}$	P36/20	360	200	16,7 / 36 / 300	16,7 / 36 * 1
	$P \frac{1}{1}$	P36/25	360	250	16,7 / 36 / 300	16,7 / 36 * 1
	$K \frac{2}{1}$	K45/21	450	210	16,7 / 36 / 300	16,7 / 36 * 1
	$K \frac{2}{1}$	K45/26	450	260	16,7 / 36 / 300	16,7 / 36 * 1
	$A \frac{4}{1}(3)$	A64/18	640	180	16,7 / 36 / 300	16,7 / 36 * 1
	$A \frac{4}{1}(3)$	A64/26	640	260	16,7 / 36 / 300	16,7 / 36 * 1

## 2.2 Prováděné experimenty

Na všech vzorcích byla provedena měření prodyšnosti a pórovitosti a byly zde zjišťovány rozměry osnovních a útkových nití po zatkání do tkaniny. Rozměry byly zjišťovány pomocí obrazové analýzy dvojím způsobem. Jednak z kolmých pohledů a jednak z řezů.

### 2.2.1 Měření prodyšnosti

Tento experiment byl prováděn jako první, protože právě k predikci této vlastnosti byla celá práce směřována. Celé měření proběhlo během jednoho dne neklimatizované laboratoři Katedry textilních materiálů na přístroji Metefem FF-12/A dle normy ČSN EN ISO 9237 [16].

Podstatou zkoušky je měření množství vzduchu, který prochází mezi protilehlými plochami textilie, vztažené k času a testované ploše a měřené při standardizovaném tlakovém spádu, v případě uvedených měření v rozsahu od 25 do 200 Pa. Jednotlivá měření byla odstupňována po 25 Pa. Pro měření byla použita měřící hlava o ploše 20 cm<sup>2</sup>.

Přepočet naměřených průtoků vzduchu přes tkaniny na prodyšnost  $R$  je uveden v normě [16].

### 2.2.2 Měření velikosti pórů

Velikost pórů byla měřena pomocí bublinkové metody v laboratoři Katedry netkaných textilií. Byly měřeny maximální a průměrné velikosti pórů.

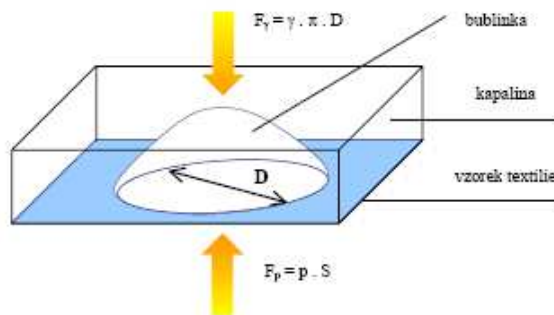
#### 2.2.2.1 Měření maximální velikosti pórů bublinkovou metodou

Při měření jsou vzorky materiálu o ploše 44 cm<sup>2</sup> upnuty do upínací čelisti. Po zapnutí vzduchovacího motorku jsou zality smáčecí kapalinou (ethanol) a postupně je zvětšováno množství vzduchu působícího na textilií až do průchodu první vzduchové bublinky skrz textilií. V okamžiku průchodu první bublinky vzduchu textilií je odečten tlak vzduchu pod textilií. Tlak  $p_h$  je vyjádřen rozdílem hladin vodního sloupce  $\Delta h$  [mm] v U-trubici tlakoměru a přepočítává se na Pascaly dle vztahu (36):

$$p = \Delta h \cdot \rho \cdot g , \quad (36)$$

kde  $\rho_v$  je hustota vody ve vodním sloupci tlakoměru a  $g = 9,81$  [m/s<sup>2</sup>] je gravitační zrychlení.

Odtud je pak zjištěný tlak přepočítán na maximální velikost póru dle úvahy znázorněné na obrázku 11.



Obr. 11: Podstata bublinkové metody [JH]

Přepočet vychází z předpokladu kruhového tvaru póru nad nímž se tvoří bublinka tvaru polokoule. Ze spodní strany vzorku působí síla  $F_p$  odvozena od působení tlaku vzduchu (vztah 37):

$$F_p = p_v S_p, \quad (37)$$

kde  $S_p$  je plocha měřeného póru. Tuto plochu je však nutno pro další výpočet převést na průměr  $D_p$  kruhového póru:

$$S = \frac{\pi D_p^2}{4} \quad (38)$$

Síla  $F_p$  se porovnává se silou  $F_\gamma$  ovlivněnou povrchovým napětím smáčecí kapaliny dle vztahu (39):

$$F_\gamma = \gamma \pi D_p \quad (39),$$

kde  $\gamma$  je povrchové napětí smáčecí kapaliny, tedy ethanolu ( $\gamma_e = 0,0228 [N/m]$ ).

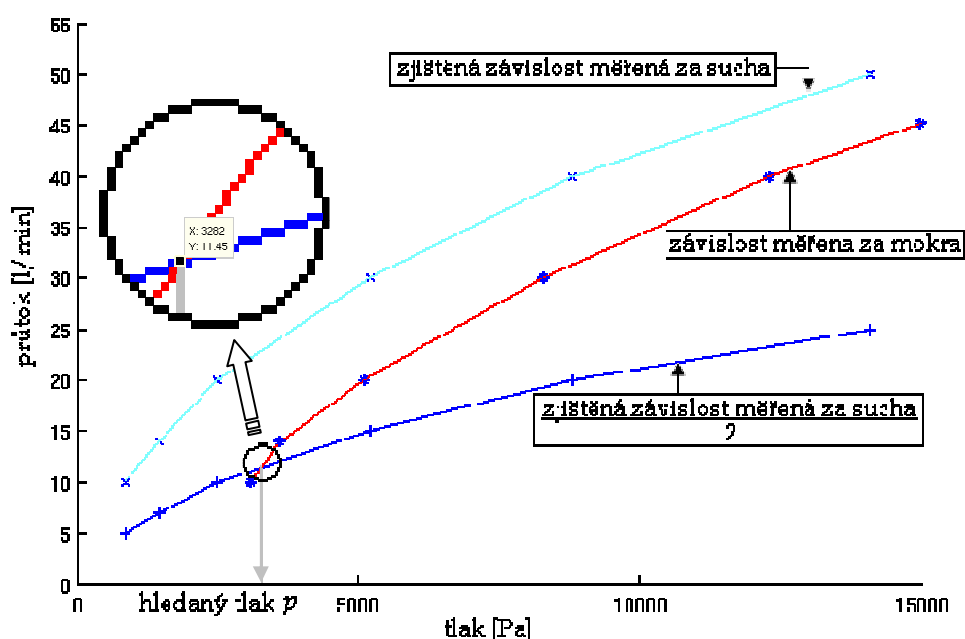
Porovnáním vztahu (37) s dosazením (38) se vztahem (39) získáme rovnici (40) z níž po úpravách vypočteme průměr póru a z něj dosazením zpět do vztahu (38) plochu maximálního póru kruhového tvaru.

$$\gamma \pi D_p = p \frac{\pi D_p^2}{4} \Rightarrow D = \frac{4\gamma}{p} \quad (40)$$

Zpětným dosazením do vztahu (38) získáme plochu měřeného póru.

### 2.2.2.2 Měření průměrné velikosti pórů bublinkovou metodou

Při měření jsou vzorky materiálu o ploše  $17 \text{ cm}^2$  upnuty do upínací čelisti. Nejprve jsou proměřeny nesmočené vzorky, při různých hodnotách průtoku vzduchu přes textilií a jsou odečítány odpovídající hodnoty tlaků. Poté se měření zopakuje s použitím smáčecí kapaliny (minerální olej  $\gamma_{mo} = 0,0347 \text{ [N/m]}$ ). Odečtené hodnoty byly vyneseny do grafu. Na obrázku 12 je pro ilustraci uveden graf zjištěných hodnot pro plátno P44/32.



Obr. 12: Odečtení hledaného tlaku z grafického vyjádření měřených závislostí

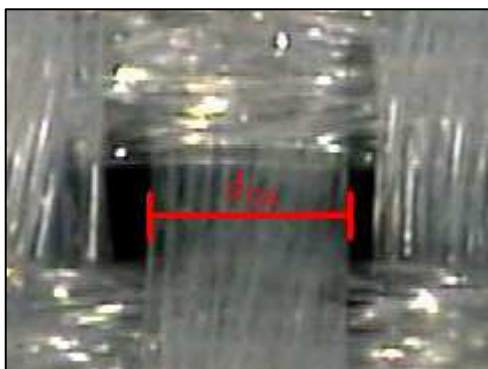
Hodnoty naměřené za sucha jsou vyneseny spolu s polovičními hodnotami průtoku těchto měření (modré křivky v obrázku 12). K nim jsou vyneseny hodnoty měření se smáčecí kapalinou (červená křivka v obrázku 12). V místě průsečíku křivky závislosti měření za mokra a poloviny závislosti měření za sucha je odečtena hodnota hledaného tlaku, která je následně přepočtena na průměr středního kruhového póru obdobně jako v případě maximálních pórů (kapitola 2.2.2.1, vztahy (37) až (40)).

### 2.2.3 Měření rozměrů nití ve tkaninách

Pro zjištění rozměrů osnovních a útkových nití ve tkanině byly vzorky proměřeny pomocí obrazové analýzy v programu NisElements v laboratoři Katedry textilních technologií. Rozměry byly zjišťovány z kolmých pohledů na tkaniny a z příčných řezů tkanin.

#### 2.2.3.1 Měření šířek nití ve tkaninách pomocí kolmých pohledů

Vzorky tkanin byly proměřovány v odraženém světle, protože v procházejícím světle nebyly dobře viditelné požadované obrysy osnovních a útkových nití. Na každé tkanině byly měřeny šířky osnovních a útkových nití. A to v oblasti mezi nitěmi, tak jak je to naznačeno na obrázku 13a. Vedle šířek nití byly rovněž proměřeny šířky pórů (obrázek 13b), z nichž pak byly vypočteny plochy pórů.



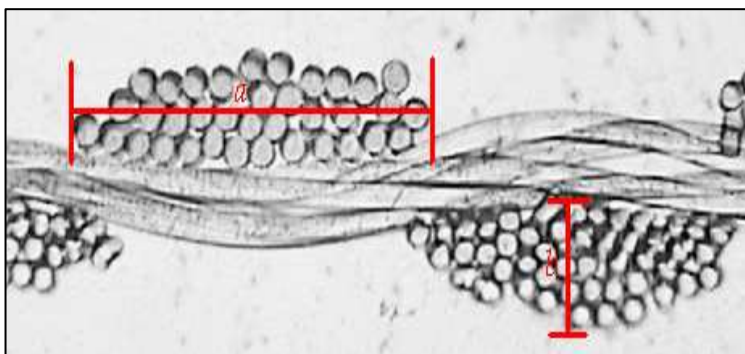
Obr. 13a: Měření šířky nitě z kolmých pohledů



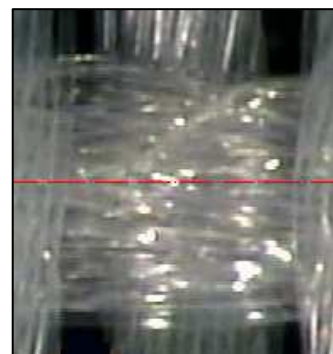
Obr. 13b: Měření šířky póru z kolmých pohledů

#### 2.2.3.2 Měření rozměrů nití ve tkaninách z příčných řezů

Rozměry nití z příčných řezů tkanin byly převzaty od diplomantky Martiny Rambouskové, která se ve své práci [17] zabývá geometrickou strukturou multifilových tkanin a při jejím vzniku pracovala se shodnými vzorky tkanin. Rozměry byly pořizovány v místech nad osou vazné vlny v provázání tkaniny (obrázky 14a a 14b). Měřeny byly šířky  $a$  a výšky  $b$  ploch deformovaných průřezů osnovních ( $a_o$ ,  $b_o$ ) a útkových ( $a_u$ ,  $b_u$ ) nití v to v místech zakřížení a v místech bez zakřížení. Zakřížením se rozumí úsek nitě spojující vazné body tak, že nit přechází z jedné strany na druhou.



Obr. 14a: Měření rozměrů nití z příčných řezů



Obr. 14b: Osa vazné vlny osnovní nitě

Důvodem převzetí výsledků provedených měření z práce [17] bylo porovnání závislosti prodyšnosti s parametry struktury tkanin získanými v různých místech, aby bylo možné sestavit co nejucelenější soubor poznatků.

## 2.3 Vyhodnocení a diskuze

Měření každou metodou bylo provedeno opakovaně. Počty opakování při jednotlivých experimentech jsou shrnuty v tabulce 3.

Tab. 3: Počet opakování měření pro jednotlivé experimenty

experimentální metoda		počet opakování měření (podrobnosti)
měření prodyšnosti		20 (pro všechny tlakové spády v každém vzorku)
měření velikosti pórů bublinkovou metodou	maximální póry	10 (v každém vzorku)
	průměrné póry	3 (nedostatek minerálního oleje a velká stejnoměrnost měření)
měření rozměrů nití pomocí obrazové analýzy	kolmé pohledy	100 nití a 100 pórů (v každém vzorku)
	příčné řezy	(převzaty průměrné hodnoty až po statistickém zpracování) [17]

Zpracování naměřených dat, vyhodnocení a diskuze jsou uvedeny v následujících kapitolách.

### 2.3.1 Zpracování naměřených dat

Veškerá naměřená data byla statisticky zpracována pomocí počítačového programu QCexpert. Po ověření základních předpokladů o datech (homogenita, normalita, nezávislost) byly počítány odhady základních statistických parametrů: aritmetický průměr, směrodatná odchylka, rozptyl a 95%-ní interval spolehlivosti.

Výsledky statistických výpočtů jsou uvedeny v příloze 1. Statistická zpracování pro data získaná z příčných řezů tkanin nebyla z [17] převzata.

### 2.3.2 Hodnocení porozity

Naměřené parametry velikosti pórů byly po statistickém zpracování přepočteny na požadované parametry a ty byly následně porovnávány s hodnotami prodyšnosti zjištěnými při tlakovém spádu 100 Pa.

Porozita byla vyjádřena následujícími způsoby:

- ➔  $P_Z$  pomocí plošného zakrytí (viz. kapitola 1.3.3, vzorec 16)
- ➔  $P_{2D}$  pomocí modifikované 2-D projekce pórů (viz. kapitola 1.3.7.2, vzorce 34)

Pro výpočty plošného zakrytí a modifikované 2-D projekce pórů byly ve vzorcích 16 a 34 použity tři odlišné hodnoty průměrů osnovních a útkových nití:

- ➔  $P_{Z(0,7)}$ ;  $P_{2D(0,7)}$  průměr nitě při teoretickém zaplnění multifilu  $\mu = 0,7$  (viz. kapitola 1.2.4)
- ➔  $P_{Z(OA)}$ ;  $P_{2D(OA)}$  šířky nití získané pomocí obrazové analýzy z kolmých pohledů (viz. kapitola 2.2.3.1)
- ➔  $P_{Z(r)}$ ;  $P_{2D(r)}$  získané pomocí obrazové analýzy z příčných řezů (viz. kapitola 2.2.3.2)

Takto získané průměry nití jsou uvedeny v tabulce 4. Další možností vyjádření porozity jsou:

- ➔  $P_{BS}$  pomocí velikostí středních pórů zjištěných bublinkovou metodou (viz. kapitola 2.2.2.2)

- ➔  $P_{BM}$  pomocí velikostí maximálních pórů zjištěných bublinkovou metodou (viz. kapitola 2.2.2.1)

Nakonec byla prodyšnost porovnávána také s:

- ♦  $P_{HB}$  Brierleyho relativní hustotou (viz. kapitola 1.3.5, vzorec 23),

kde bylo rovněž využito pro výpočet různých vyjádření průměrů multifilu jako v předchozích případech:

- ➔  $P_{HB(0,7)}$ ;  $P_{HB(OA)}$ ;  $P_{HB(r)}$ .

Tab. 4: Průměry nití pro výpočet porozity

	průměr nitě se zaplněním 0,7		šířka nitě naměřená na OA z kolmých pohledů		šířka nitě naměřená na OA z příčných řezů			
					v místě křížení nití		v místě bez křížení nití	
	$d_o$ [m]	$d_u$ [m]	$a_o$ [m]	$a_u$ [m]	$a_o$ [m]	$a_u$ [m]	$a_o$ [m]	$a_u$ [m]
P 36/20	1,49E-04	1,49E-04	2,50E-04	3,61E-04	2,94E-04	3,60E-04		
P 36/25	1,49E-04	1,49E-04	2,45E-04	3,15E-04	2,80E-04	3,17E-04		
P 44/27	1,02E-04	1,00E-04	1,66E-04	1,77E-04	1,96E-04	2,94E-04		
P 44/32	1,02E-04	1,00E-04	2,63E-04	2,55E-04	1,95E-04	2,65E-04		
K 45/21	1,49E-04	1,49E-04	2,09E-04	3,57E-04	2,68E-04	3,65E-04	2,23E-04	3,66E-04
K 45/26	1,49E-04	1,49E-04	2,06E-04	3,18E-04	2,78E-04	3,18E-04	2,28E-04	3,22E-04
K 48/34	1,02E-04	1,00E-04	1,56E-04	1,58E-04	1,82E-04	2,90E-04	1,58E-04	2,68E-04
K 48/37	1,02E-04	1,00E-04	2,40E-04	2,53E-04	1,81E-04	2,70E-04	1,63E-04	2,50E-04
A 64/18	1,49E-04	1,49E-04	1,56E-04 *	5,56E-04 *	2,88E-04	4,17E-04	1,96E-04	4,16E-04
A 64/26	1,49E-04	1,49E-04	1,56E-04 *	3,85E-04 *	2,86E-04	3,62E-04	1,77E-04	3,67E-04
A 80/22	1,02E-04	1,00E-04	1,25E-04 *	4,55E-04 *	1,96E-04	3,83E-04	1,43E-04	3,80E-04
A 80/28	1,02E-04	1,00E-04	1,25E-04 *	3,57E-04 *	2,03E-04	3,26E-04	1,38E-04	3,34E-04

## Diskuze

Hodnoty šířek nití \* nebylo možno na OA z kolmých pohledů naměřit (obrázek 15). Tkaniny atlasové vazby byly příliš husté, takže nebylo možno identifikovat hranice jednotlivých nití. Hodnoty uvedené v tabulce byly vypočteny za předpokladu, že šířka nití se musí v takovýchto tkaninách rovnat rozteči ( $p=1/D$ ).





Obr. 15: Hustě dostavená tkanina atlasové vazby

### 2.3.2.1 Porozita vyjádřena pomoci plošného zakrytí

Jak bylo již v předchozí kapitole uvedeno, bylo plošné zakrytí vyjádřeno pro různé průměry osnovních a útkových nití. Zakrytí bylo vypočteno dle vztahu (16). Jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5. Ze zakrytí byla podle vztahu (28) vypočtena porozita (tabulka 6).

Tab. 5: Vypočtené hodnoty plošného zakrytí

	Zakrytí [%]		
	$Z_{(0,7)}$	$Z_{(OA)}$	$Z_{(r)}$
P 36/20	67,61	97,20	101,60
P 36/25	71,06	97,49	100,14
P 44/27	59,83	85,84	97,19
P 44/32	62,59	102,92	97,88
K 45/21	77,53	98,51	104,83
K 45/26	79,98	98,76	104,38
K 48/34	66,38	88,29	99,80
K 48/37	67,92	100,98	99,98
A 64/18	96,82	100,00 *	121,04
A 64/26	97,34	100,00 *	104,88
A 80/22	85,74	100,00 *	108,90
A 80/28	86,84	100,00 *	105,42

Tab. 6: Vypočtené hodnoty porozity  $P_Z$

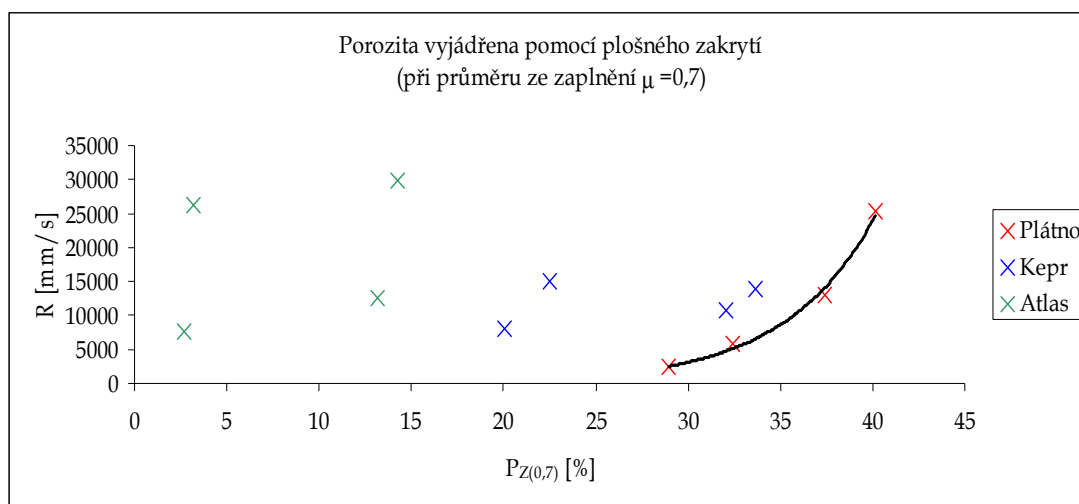
	Porozita [%]		
	$P_{Z(0,7)}$	$P_{Z(OA)}$	$P_{Z(r)}$
P 36/20	32,39	2,80	-1,60
P 36/25	28,94	2,51	-0,14
P 44/27	40,17	14,16	2,81
P 44/32	37,41	-2,92	2,12
K 45/21	22,47	1,49	-4,83
K 45/26	20,02	1,24	-4,38
K 48/34	33,62	11,71	0,20
K 48/37	32,08	-0,98	0,02
A 64/18	3,18	0,00 *	-21,04
A 64/26	2,66	0,00 *	-4,88
A 80/22	14,26	0,00 *	-8,90
A 80/28	13,16	0,00 *	-5,42

## Diskuze

Hodnoty porozity označené \* u atlasových vazeb dosahují 0%, důvody jsou uvedeny již v diskuzi k tabulce 4, (kapitola 2.3.2).

Hodnoty porozity  $P_{Z(OA)}$  a  $P_{Z(r)}$  nabývají i záporných hodnot. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že zjištěné hodnoty šířek nití jsou větší, než rozteč nití daná dostavou (šířka nití je větší než prostor pro zakřížení). Lze tedy konstatovat, že parametry šířky nití určené metodikou příčných řezů nejsou vhodné pro výpočty porozity. Důvodem je patrně nadhodnocení dat (rozsypání fibril multifilu) v hustých tkaninách.

Pro nalezení závislostí mezi prodyšností a hodnotami porozity, které byly vypočteny výše popsaným principem, byly konstruovány grafy. Všechny varianty grafů jsou uvedeny v příloze 2, v této kapitole je na obrázku 16 zobrazena pouze závislost mezi prodyšností a porozitou vyjádřenou ze zakrytí, jež bylo vypočteno z průměru příze se zaplněním  $\mu = 0,7$ , protože pouze v tomto případě byla prokázána statisticky významná závislost.



Obr.16: Grafické vyjádření závislosti prodyšnosti na  $P_{Z(0,7)}$

Je graficky znázorněno, že možnost vyjádření porozity z plošného zakrytí (vztah 16), kde je hodnota průměru multifilu vypočtena z kruhového průřezu nitě se zaplněním  $\mu = 0,7$  (viz. kapitola 1.2.4) koresponduje s hodnotami prodyšnosti pouze v případě multifilových tkanin vyrobených v plátnové vazbě. Je možno konstatovat, že na základě tohoto zjištění můžeme **prodyšnost multifilových tka-**

nin vyrobených v plátňové vazbě predikovat pomocí porozity vyjádřené z plošného zakrytí s nitěmi se zaplněním  $\mu = 0,7$  dle vztahu (41):

$$R[mm / s] = 7,01e^{0,20P_{Z(0,7)}[\%]}. \quad (41)$$

Pro tkaniny vyrobené v atlasové a keprové vazbě není zřejmá žádná závislost. Pravděpodobným důvodem je odlišnost ve struktuře provázání nití ve tkaničce. Je možno předpokládat, že zde dochází k otevírání mezinitných pórů ve flutujících úsecích nití.

### 2.3.2.2 Porozita vyjádřena pomocí modifikované 2-D projekce pórů

I v tomto případě bylo počítáno s různými průměry příze (viz. tabulka 4). Plochy pórů pro výpočet byly vyjádřeny dle vztahů 29 až 32. Z výsledných hodnot pak byla vyjádřena porozita (vztah 34). Konečná data jsou zobrazena v tabulce 7.

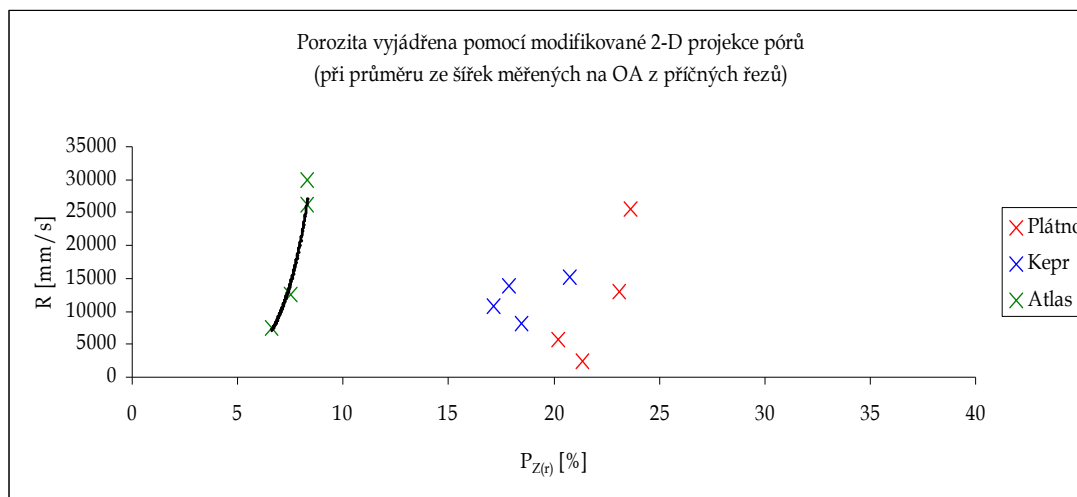
Tab. 7: Vypočtené hodnoty porozity  $P_{2D}$

	Porozita [%]		
	$P_{2D(0,7)}$	$P_{2D(OA)}$	$P_{2D(r)}$
P 36/20	80,48	22,86	20,21
P 36/25	78,94	22,38	21,35
P 44/27	53,01	18,41	23,66
P 44/32	50,84	29,54	23,12
K 45/21	81,47	21,70	20,73
K 45/26	79,70	20,45	18,46
K 48/34	53,89	13,27	17,87
K 48/37	52,09	23,70	17,17
A 64/18	74,83	0,00*	8,32
A 64/26	73,25	0,00*	6,60
A 80/22	35,97	0,00*	8,33
A 80/28	34,43	0,00*	7,49

## Diskuze

Hodnoty porozity označené \* u atlasových vazeb dosahují 0%, důvody jsou uvedeny již v diskuzi k tabulce 4, (kapitola 2.3.2).

Pro nalezení závislostí mezi prodyšností a hodnotami porozity, které byly vypočteny výše popsaným principem, byly konstruovány grafy. Všechny varianty grafů (včetně navržených vztahů a korelačních koeficientů) jsou uvedeny v příloze 2, nyní je na obrázku 17 vyobrazena závislost mezi prodyšností a porozitou vyjádřenou pomocí modifikované 2D projekce pórů z průměru příze, který byl získán měřením na obrazové analýze z příčných řezů, neboť pouze pro tento případ byla prokázána statisticky významná závislost.



Obr.17: Grafické vyjádření závislosti prodyšnosti na  $P_{2D(t)}$

V grafu na obrázku 17 je znázorněno, že možnost vyjádření porozity pomocí modifikované 2D projekce pórů (vztah 34), kde byla velikost průměru multifilu vyjádřena šířkou nití zjištěnou pomocí obrazové analýzy z příčných řezů tkanin (viz. kapitola 2.2.3.2) souhlasí s hodnotami prodyšnosti pouze v případě multifilových tkanin vyrobených v atlasových vazbách. Je možno konstatovat, že na základě tohoto zjištění můžeme **prodyšnost multifilových tkanin vyrobených v atlasové vazbě** predikovat pomocí **porozity vyjádřené pomocí modifikované 2D projekce pórů vypočtené ze šířek nití naměřených na obrazové analýze z příčných řezů tkanin dle vztahu (42):**

$$R[mm/s] = 42e^{0.78P_{Z(0.7)}[\%]}. \quad (42)$$

Pro tkaniny vyrobené v plátňové vazbě je patrná závislost, která ovšem není tak významná jako závislost pro tkaniny v atlasové vazbě nebo závislost pro tkaniny v plátňové vazbě uvedená v kapitole 1.3.2.1. Pro multifilové tkaniny vyrobené ve vazbě keprové není zjevná žádná závislost.

### 2.3.2.3 Brierleyho relativní hustota

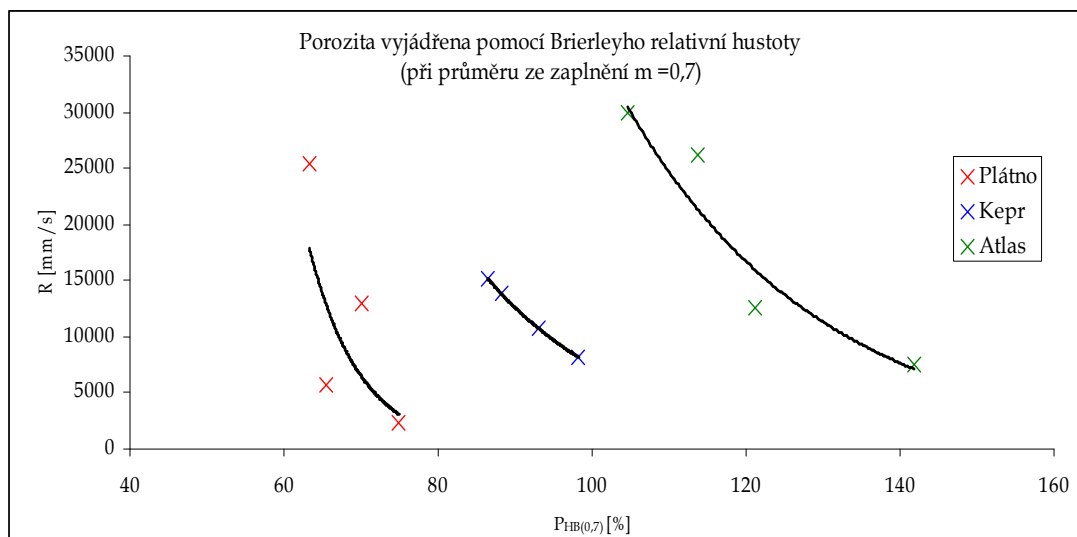
Pro tento případ bylo počítáno s průměry příze uvedenými v tabulce 4. Brierleyho relativní hustota byla vypočtena dle vztahu 23. Konečná data jsou zobrazena v tabulce 8.

Tab. 8: Vypočtené hodnoty plnosti  $P_{HB}$

	Plnost [%]		
	$P_{HB(0,7)}$	$P_{HB(OA)}$	$P_{HB(r)}$
P 36/20	65,49	133,76	38,79
P 36/25	74,88	140,27	45,38
P 44/27	63,29	107,22	39,83
P 44/32	70,16	179,64	44,01
K 45/21	86,37	163,61	55,37
K 45/26	98,17	172,25	64,83
K 48/34	88,32	136,87	55,03
K 48/37	92,98	226,78	68,00
A 64/18	113,72	270,81	83,27
A 64/26	141,79	256,57	107,49
A 80/22	104,60	299,68	85,41
A 80/28	121,10	288,62	96,70

## Diskuze

Pro nalezení závislostí mezi prodyšností a hodnotami Brierleyho relativní hustoty, které byly vypočteny výše popsaným principem byly konstruovány grafy. Všechny varianty grafů jsou opět uvedeny v příloze 2, nyní je na obrázku 18 vyobrazena závislost mezi prodyšností a Brierleyho relativní hustotou vypočtenou z průměru se zaplněním  $\mu = 0,7$  (viz. kapitola 1.2.4), neboť pouze pro tento případ byla prokázána výrazná závislost.



Obr.18: Grafické vyjádření závislosti prodyšnosti na plnosti  $P_{HB(0,7)}$

Z grafu na obrázku 18 je patrné, že existuje možnost vyjádření prodyšnosti na základě **Brierleyho relativní hustoty (vztah 23)**, kde byla velikost průměru multifilu vypočtena se zaplněním nití  $\mu = 0,7$ . V případě vyjádření této závislosti je možné nalézt závislost pro multifilové tkaniny ve vazbách plátňových, keprových i atlasových, přičemž pro keprové vazby je tato závislost statisticky nejvýznamnější. Pro zjištěné závislosti lze napsat vztahy (43) pro keprovou, (44) pro atlasovou a (45) pro plátňovou vazbu:

$$R = 1 \cdot 10^6 e^{-0,05 P_{HB(0,7)}}, \quad (43)$$

$$R = 2 \cdot 10^6 e^{-0,09 P_{HB(0,7)}}, \quad (44)$$

$$R = 2 \cdot 10^8 e^{-0,15 P_{HB(0,7)}}, \quad (45)$$

kde  $R \text{ [mm/s]}$  je prodyšnost při tlakovém spádu 100 Pa a  $P_{HB} [\%]$  je Brierleyho relativní plnost.

#### 2.3.2.4 Porozita naměřená bublinkovou metodou

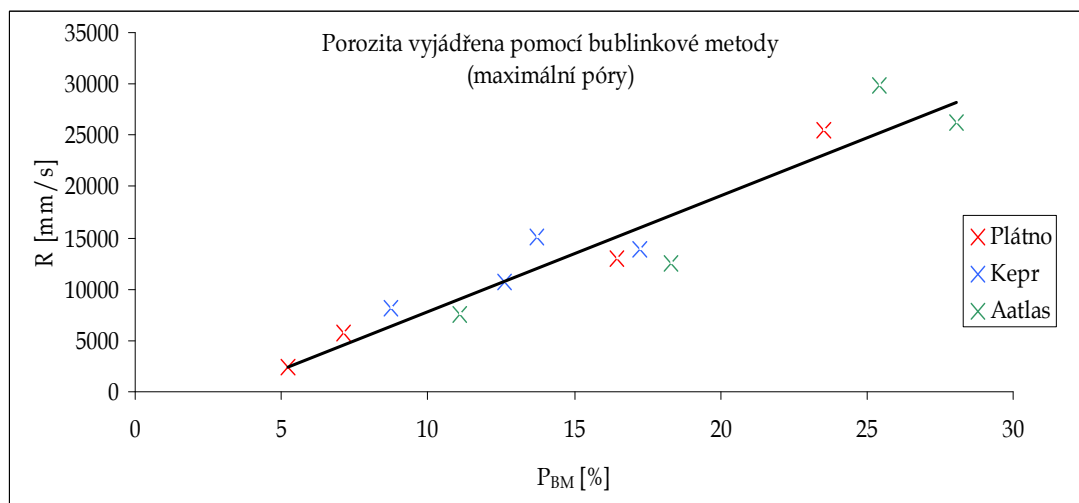
Pro vyjádření této závislosti byla použita data získána bublinkovou metodou pro měření velikosti maximálních a středních pórů ve tkaninách, která byla dále přepočtena na průměr a následně plochu pórů (viz. kapitola 1.2.2). Ta byla dle vztahu (27) přepočtena na porozitu. Výsledné hodnoty pórovitosti jsou znázorněny v tabulce 9:

Tab. 9: Vypočtené hodnoty porozity  $P_B$

	Porozita [%]	
	$P_{BM}$	$P_{BS}$
P 36/20	7,12	0,38
P 36/25	5,24	0,29
P 44/27	23,52	4,20
P 44/32	16,47	1,98
K 45/21	13,73	1,52
K 45/26	8,73	1,28
K 48/34	17,23	2,06
K 48/37	12,62	1,31
A 64/18	28,06	3,61
A 64/26	11,11	1,48
A 80/22	25,40	16,03
A 80/28	18,31	2,16

## Diskuze

Již z tabulky je patrná poměrně malá korespondence mezi hodnotami z obou metod měření. V grafickém vyjádření je tato rozdílnost ještě výraznější. Oba grafy jsou uvedeny v příloze 2. V této části je na obrázku 19 předložena pouze závislost prodyšnosti na porozitě získané změřením maximálních pórů bublinkovou metodou, neboť jen tato závislost se jeví jako významná.



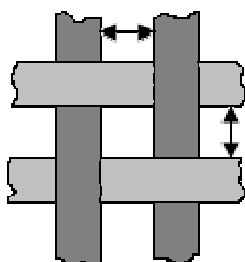
Obr. 19: Grafické vyjádření závislosti prodyšnosti na porozitě  $P_{BM}$

V grafickém vyjádření na obrázku 19 je patrná velmi zajímavá závislost **prodyšnosti na porozitě vyjádřené bublinkovou metodou**. Pro celý soubor dat tvořený z hodnot pro různé vazby je možno závislost vyjádřit vztahem (46):

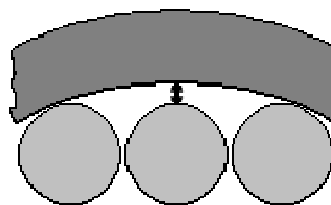
$$R[\text{mm/s}] = 1130P_{BM}[\%] - 3450 \quad (46)$$

Pro predikci prodyšnosti je však tato závislost nevhodná vzhledem ke skutečnosti, že obě porovnávané veličiny vycházejí z dat zjištěných experimentálními metodami. Proto bylo potřeba velikosti pórů naměřené bublinkovou metodou vyjádřit pomocí hodnot zjištěných ze struktury tkaniny.

Pro uvedenou korekci byla využita představa, že póry vznikají ve tkanině nikoli pouze mezi jednotlivými nitěmi jedné soustavy uloženými vedle sebe (viz. obrázek 20), ale také mezi nitěmi obou soustav uložených při provazování nad sebou (viz. obrázek 21).



Obr. 20: Póry mezi nitěmi jedné soustavy



Obr. 21: Póry mezi nitěmi dvou soustav

Protože takovýto vznik pórů je daleko pravděpodobnější u tkanin vyrobených ve vazbách s flotujícími nitěmi, byla při sestavení vztahu popisujícího tento pór do něj zahrnuta délka flotáže pod níž vznikne. Pro zavedení vztahu byly využity následující předpoklady:

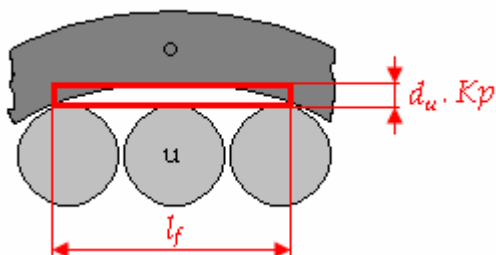
- ♦ představa platí pro neplátnové vazby
- ♦ pór je uvažován obdélníkového tvaru,
- ♦ délka obdélníkového póru je dána délkou flotáže v útku,
- ♦ délka flotáže vychází ze strukturních parametrů nití ve tkanině (rozteč útkových nití \* počet útkových nití pod flotáží),
- ♦ délka flotáže je závislá na typu vazby, ale nemění se působením sil na tkaninu,
- ♦ výška obdélníkového póru je úměrná součinu průměru flotující osnovní nitě (průměr se zaplněním 0,7 vypočten kapitoly 1.2.4) a přepočtového (empirického) koeficientu  $K_p$  dle tabulky 10.



**Tab. 10: Přepočtový koeficient pro plátno a kepr**

Vazba	$Kp$
Kepr	0,12
Atlas	0,06

Zjednodušující předpoklady pro sestavení vztahu jsou znázorněny na obrázku 22.



**Obr. 22: Předpoklady definice póru**

Plocha  $S_{Po}$  výše definovaného póru je tedy zavedena vztahem:

$$S_{Po} = l_f d_u \cdot Kp \quad (47)$$

Porovnáním plochy póru  $S_{PB}$  získané pomocí bublinkové metody (kapitola 2.2.2) s plochou póru získanou vztahem (47) byl po úpravách získán přepočtový koeficient  $Kp$ :

$$Kp = \frac{S_{PB}}{l_f d_u}, \quad (48)$$

Dosazením do vztahů (47) a (48) byly získány hodnoty přepočtového koeficientu  $Kp$  pro jednotlivé vazby. (viz data v tabulce 10).

Na základě této zjednodušené představy lze predikovat velikost jednoho idealizovaného póru  $S_{Po}$ . Z velikosti jednoho póru a jejich počtu na 20 cm<sup>2</sup> (velikost plochy vzorku při měření prodyšnosti) lze určit hodnotu prodyšnosti  $P_{BM}$  [%] a odtud dle vztahu (46) odhadnout hodnotu prodyšnosti  $R$ [mm/s] pro neplátnové vazby.

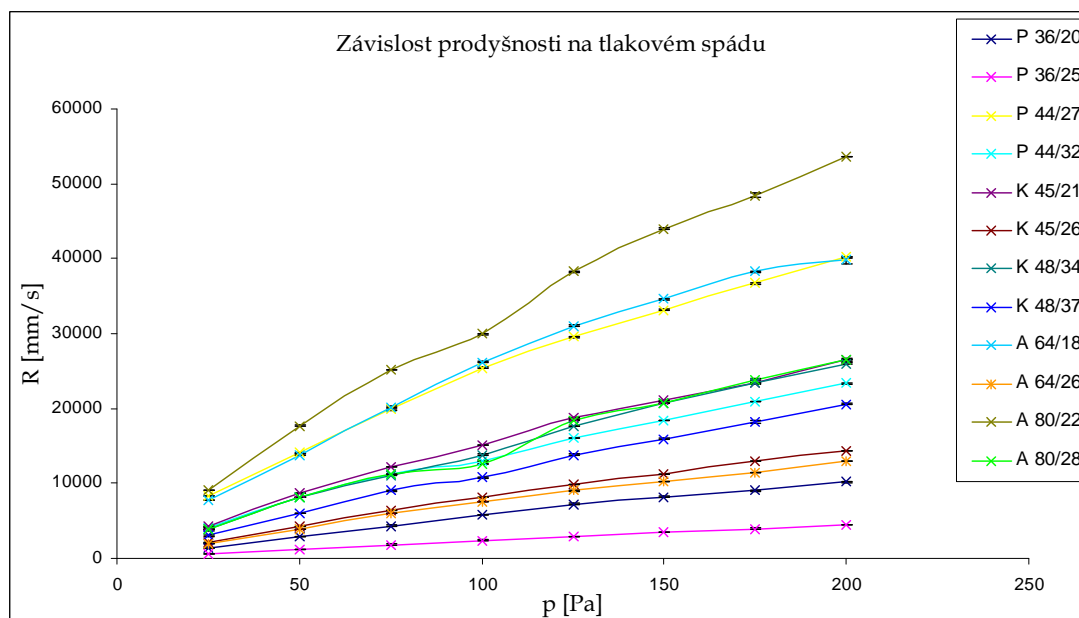
### 2.3.3 Hodnocení prodyšnosti

Prodyšnost byla zjišťována pro všechny vzorky tkanin při různých tlakových spádech způsobem popsáním v kapitole 2.2.1. Zjištěné hodnoty prodyšnosti jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11: Hodnoty prodyšnosti při různých tlakových spádech

	Tlakový spád $\Delta p$ [Pa]							
	25	50	75	100	125	150	175	200
P 36/20	1420	2948	4334	5762	7189	8166	9060	10187
P 36/25	559	1142	1837	2363	2948	3499	3950	4467
P 44/27	8350	14070	19873	25426	29559	33150	36698	40205
P 44/32	4066	8083	11231	12984	16116	18370	20917	23380
K 45/21	4300	8751	12149	15114	18704	21000	23372	26428
K 45/26	2171	4275	6350	8175	9811	11231	12943	14320
K 48/34	3833	8062	11106	13819	17619	20750	23338	26010
K 48/37	3006	5995	9035	10772	13819	15949	18203	20583
A 64/18	7774	13819	20165	26177	31062	34569	38243	39804
A 64/26	1996	3908	5945	7565	9026	10229	11398	12984
A 80/22	9102	17702	25217	29935	38285	44005	48430	53607
A 80/28	3783	8112	11231	12525	18454	20750	23881	26553

Grafické vyjádření závislosti prodyšnosti na jednotlivých tlakových spádech pro veškeré měřené vzorky tkanin jsou uvedeny v grafu na obrázku 23.



Obr. 23: Grafická závislost prodyšnosti vzorků tkanin na různých tlakových spádech

## Diskuze

Z grafu je patrná poměrně rovnocenná závislost prodyšnosti různých vzorků tkanin na měnícím se tlakovém spádu.

Veškeré závislosti uvedené v podkapitolách předcházející kapitoly 2.3.2 byly vynášeny vzhledem k prodyšnosti při tlakovém spádu 100 Pa. Bylo tedy potřeba vyřešit přepočty pro jiné hodnoty tlakového spádu. Toto bylo řešeno na základě vztahů zjištěných Havrdovou [13]. Ta vychází z předpokladu znalosti přírůstků tlakového spádu a prodyšnosti. Na základě znalostí změny zmíněných veličin, byl proto hledán také zde požadovaný přepočtový vztah a to ve tvaru:

$$R_{\Delta p2} = R_{\Delta p1} \cdot P2 \cdot \left( \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} \right)^{P1} \quad (49)$$

kde  $\Delta p1$  je tlakový spád 100Pa při prodyšnosti  $R_{\Delta p1}$  (pro který byly vyhodnocovány předchozí závislosti),  $\Delta p2$  je tlakový spád pro nějž hledáme hodnotu prodyšnosti  $R_{\Delta p2}$ .

Parametry  $P1$  a  $P2$  byly hledány v programu QCexpert, pomocí nelineární regrese (metoda nejmenších čtverců). Podařilo se nalézt parametry uvedené v tabulce 12. Parametr  $P2$  ovlivňuje zaoblenost křivky a parametr  $P1$  její strmost.

Tab. 12: Parametry pro přepočty prodyšností

Odhady parametrů	Parametr	Dolní mez	Horní mez
P1	1,01	0,99	1,04
P2	0,84	0,79	0,88

Z hodnot uvedených v tabulce 12 byl programem QCexpert konstruován graf uvedený na obrázku 24.

### 3. Závěr

Souvislost prodyšnosti se strukturou tkanin je obecně velmi širokým tématem. Struktura tkaniny i nižších textilních útvarů samostatně je kapitolou velmi obsáhlou a stále ještě přinášející mnohé nové poznatky. Vždy se zde objevují ony známé výjimky potvrzující ověřená pravidla, které významným způsobem přispívají k poznání, že tkanina je útvar z určitého pohledu značně nevyzpytatelný. Obdobně toto platí při snaze predikovat jakoukoliv vlastnost tkanin, která se strukturou souvisí. Navzdory všemu uvedenému současná věda dokáže mnohé parametry nejen kvalifikovaně popisovat, ale také z nich mnohé odvozovat a predikovat. I toho je důkazem krátký průřez současnými poznatky o struktuře a prodyšnosti uvedený v rešeršní části práce.

Cílem diplomové práce bylo nalézt ve struktuře multifilových tkanin takové parametry, na základě jejichž popisu lze predikovat prodyšnost těchto tkanin dříve, nežli budou vyrobeny. K tomu byly využity vzorky rezných multifilových tkanin vyrobených ve firmě Spolsin spol. s r. o.

Pro splnění těchto cílů bylo provedeno určení propustnosti a to: měření prodyšnosti na všech vzorcích při různých tlakových spádech a také určení velikosti póru tzv. bublinkovou metodou. Dále byly hodnoceny parametry struktury tkaniny. Byly měřeny velikosti pórů ve tkaninách a šířky nití ve tkanině (pomocí obrazové analýzy z kolmých pohledů). Z práce Rambouskové [17] byla přejata data popisující šířky a výšky průřezů nití ve tkaninách měřené na obrazové analýze z příčných řezů.

Po provedení experimentů byla data statisticky zpracována. Porozita, případně plnost tkaniny byla hodnocena danými koeficienty na základě znalosti parametrů příčného řezu multifilu, které byly získány různými způsoby (z teoretického průměru multifilu (se zaplněním 0,7), z naměřených šířek nití, z velikosti maximálních a středních pórů). Poté byly vytvořeny a porovnávány závislosti prodyšnosti a vypočtených veličin.

Bylo zjištěno, že pro predikci prodyšnosti je pro každou vazbu tkaniny vhodná jiná metodika. Lze doporučit několik postupů. Závislost prodyšnosti na

porozitě vypočtené z plošného zakrytí s průměrem multifilu se zaplněním 0,7 ukazuje na možnost predikce prodyšnosti u tkanin vyrobených **v plátnové vazbě**, zatímco závislost prodyšnosti na porozitě vymezené na základě modifikované 2-D projekce pórů s průměrem nitě získaným pomocí obrazové analýzy z příčných řezů vedla k vytvoření vztahu pro tkaniny **ve vazbě atlasové**. Vedle toho závislost prodyšnosti na Brierleyho relativní hustotě při zaplnění multifilu 0,7 a na porovitosti odvozené z velikosti maximálních pórů dává možnost predikce prodyšnosti pro tkaniny **v plátnové, keprové i atlasové vazbě**. Protože však poslední zmíněná závislost je závislostí dvou naměřených veličin, bylo potřeba sestavit přepočtový vztah (48), umožňující vyjádření prodyšnosti na základě veličin známých před výrobou tkaniny.

Všechny zmíněné závislosti byly tvořeny pro predikci hodnot prodyšnosti při tlakovém spádu 100 Pa. Proto byl odvozen vztah (49) umožňující přepočet i pro jiné tlakové spády.

Platnost navržených vztahů je dána souborem konkrétních tkanin, pro ověření širší platnosti by bylo možno navrhnout verifikaci na vzorcích tkanin v různých vazbách se stejnými jemnostmi a dostavami.

## Literatura

- [1] Neckář, B.: *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. TU Liberec, 2001.
- [2] Ursiny, P.: *Předení I*. TU Liberec, 2006.
- [3] Rambousková, M.: *Parametry multifilu v řezu tkaniny*. Bakalářská práce. TU Liberec 2006.
- [4] Marko, J.: *Jádrová skaná nit*. Kandidátská práce. TU Liberec: 1990
- [5] Drašarová, J.: *Analýza příčných řezů tkaniny*. Disertační práce. TU Liberec: 2004
- [6] Neckář, B.: *Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti*. Praha: SNTL 1990
- [7] Talavášek, O.: *Tkalcovská příručka*. Praha: SNTL 1980
- [8] Kovář, R.: *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. TU Liberec: 2002
- [9] Mrazíková, I.: *Vazby tkanin listové – základní, odvozené a složené*. TU Liberec: 2002
- [10] Bohadlo, O.: Konstrukce hedvábných tkanin. *Textil* 1973, str. 287-292
- [11] Brierley, S.: Cloth Setting Reconsidered. *The Textile Manufacturer*. July, 1952. p. 349-360
- [12] FRVŠ 2025/2006 [online]. [2006], Poslední úprava 9. května 2008 [cit. 2008-04-29]. <<http://krakatice.kod.tul.cz/frvs2025/?chap=2>>
- [13] Havrdová, M.: *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin*. Disertační práce. TU Liberec: 2004
- [14] Delljová, R. A. – Afanasjevová, R. F. – Čubarovová, Z. S.: *Hygiena odívání*. Praha: SNTL 1984
- [15] Goojier, H.: Flow resistance of textile materials. Thesis UT Enschede 1998,
- [16] ČSN EN ISO 9237: *Textil – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační instut, 1996
- [17] Rambousková, M.: *Geometrická struktura tkanin z multifilu*. Diplomová práce. TU Liberec: 2008

# **Příloha 1**

**Výsledky statistického zpracování naměřených dat**

# Statistické zpracování měření prodyšnosti

**Tab. P 1: Aritmetický průměr měření prodyšnosti**

	Tlakový spád [Pa]							
	25	50	75	100	125	150	175	200
P36/20	67	136,75	220	283	353	419	473	535
P36/25	170	353	519	690	861	978	1085	1220
P44/27	1000	1685	2380	3045	3540	3970	4395	4815
P44/32	487	968	1345	1555	1930	2200	2505	2800
K45/21	515	1048	1455	1810	2240	2515	2799	3165
K45/26	260	512	760,5	979	1175	1345	1550	1715
K48/34	459	965,5	1330	1655	2110	2485	2795	3115
K48/37	360	718	1082	1290	1655	1910	2180	2465
A64/18	239	468	712	906	1081	1225	1365	1555
A64/26	931	1655	2415	3135	3720	4140	4580	4767
A80/22	1090	2120	3020	3585	4585	5270	5800	6420
A80/28	453	971,5	1345	1500	2210	2485	2860	3180

**Tab. P 2: Rozptyl měření prodyšnosti**

	Tlakový spád [Pa]							
	25	50	75	100	125	150	175	200
P36/20	37,89	95,46	421,05	390,53	1358,95	1788,42	1906,32	1552,63
P36/25	311,58	356,84	264,21	1914,74	3093,68	1427,37	3447,37	1973,68
P44/27	4210,53	6605,26	21684,2	34184,2	24631,6	36947,4	47868,4	49763,16
P44/32	769,47	1364,21	6815,79	11026,3	6421,05	14736,84	15236,8	15789,47
K45/21	1552,63	4522,11	4710,53	5157,89	19368,4	20289,47	36710,5	16078,95
K45/26	463,16	1148,42	2994,47	4483,16	15657,9	12078,95	16315,8	21342,11
K48/34	1409,47	2141,84	7473,68	17342,1	27263,1	40289,47	52078,9	40289,47
K48/37	1473,68	3616,84	7111,58	11473,6	22605,2	20947,37	22736,8	26605,26
A64/18	230,53	568,42	2964,21	4130,53	7472,63	9342,11	11868,42	12078,95
A64/26	1594,74	5368421,00	28710,53	6815,79	37342,11	47789,47	43052,63	21473,68
A80/22	5157,89	26947,37	25894,74	43447,37	77131,58	108526,32	94736,84	105894,74
A80/28	1190,53	3171,32	2605,26	21052,63	7263,16	9763,16	16210,53	17473,68

**Tab. P 3: Směrodatná odchylka měření prodyšnosti**

	Tlakový spád [Pa]							
	25	50	75	100	125	150	175	200
P36/20	6,16	9,77	20,52	19,76	36,86	42,29	43,66	39,40
P36/25	17,65	18,89	16,25	43,76	55,62	37,78	58,71	44,43
P44/27	64,88	81,27	147,26	184,89	156,94	192,22	218,79	223,08
P44/32	27,74	36,93	82,56	105,01	80,13	121,39	123,44	125,66
K45/21	39,40	67,24	68,63	71,82	139,17	142,44	191,59	126,80
K45/26	21,52	33,88	54,72	66,96	125,13	109,90	127,73	146,09
K48/34	37,54	46,28	86,45	131,69	165,12	200,72	228,20	200,72
K48/3	38,39	60,14	84,33	107,12	150,35	144,73	150,79	163,11
A64/18	15,18	23,84	54,44	64,27	86,44	96,65	108,94	109,90
A64/26	39,93	73,27	169,44	82,56	193,24	218,60	207,49	146,54
A80/22	71,82	164,16	160,92	208,44	277,73	329,43	307,79	325,41
A80/28	34,50	56,31	51,04	145,09	85,22	98,81	127,32	132,19



**Tab. P 4: 95%-ní interval spolehlivosti pro měření prodyšnosti**

	Tlakový spád [Pa]															
	25		50		75		100		125		150		175		200	
	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez
P36/20	64,12	69,88	132,18	141,32	210,40	229,60	273,75	292,25	335,75	370,25	399,21	438,79	452,57	493,43	516,56	553,44
P36/25	161,74	178,26	344,16	361,84	511,39	526,61	669,52	710,48	834,97	887,03	960,32	995,68	1057,52	1112,48	1199,21	1240,79
P44/27	969,63	1030,3	1646,96	1723,04	2311,08	2448,92	2958,47	3131,53	3466,55	3613,45	3880,04	4059,96	4292,60	4497,40	4710,60	4919,40
P44/32	474,02	499,98	950,71	985,29	1306,36	1383,64	1505,86	1604,14	1892,50	1967,50	2143,19	2256,81	2447,23	2562,77	2741,19	2858,81
K45/21	496,56	533,44	1016,53	1079,47	1422,88	1487,12	1776,39	1843,61	2174,87	2305,13	2448,34	2581,66	2709,33	2888,67	3105,65	3224,35
K45/26	249,93	270,07	496,14	527,86	734,89	786,11	947,66	1010,34	1116,44	1233,56	1293,56	1396,44	1490,22	1609,78	1646,63	1783,37
K48/34	441,43	476,57	943,84	987,16	1289,54	1370,46	1593,37	1716,63	2032,72	2187,28	2391,06	2578,94	2688,20	2901,80	3021,06	3208,94
K48/37	342,03	377,97	689,85	746,15	1042,53	1121,47	1239,87	1340,13	1584,63	1725,37	1842,26	1977,74	2109,43	2250,57	2388,66	2541,34
A64/18	231,89	246,11	456,84	479,16	686,52	737,48	875,92	936,08	1040,54	1121,46	1179,76	1270,24	1314,01	1415,99	1503,56	1606,44
A64/26	912,31	949,69	1620,71	1689,29	2335,70	2494,30	3096,36	3173,64	3629,56	3810,44	4037,69	4242,31	4482,89	4677,11	4698,42	4835,58
A80/22	1056,3	1123,6	2043,17	2196,83	2944,69	3095,31	3487,45	3682,55	4455,02	4714,98	5115,82	5424,18	5655,95	5944,05	6267,70	6572,30
A80/28	436,85	469,15	945,14	997,86	1321,11	1368,89	1432,09	1567,91	2170,11	2249,89	2438,76	2531,24	2800,41	2919,59	3118,13	3241,87

Poznámka k tabulkám 1 až 4: Byly naměřeny hodnoty průtoku vzduchu pro jednotlivé tlakové spády. Ty byly statisticky zpracovány a dále použity pro následné výpočty.

## Statistické zpracování měření velikosti pórů bublinkovou metodou

Tab. P 5: Statistické zpracování měření maximální velikosti pórů bublinkovou metodou

X	Aritmetický průměr	Rozptyl	Směrodatná odchylka	95%-ní interval spolehlivosti	
				dolní mez	horní mez
P36/20	83,20	36,62	6,05	79,45	86,95
P36/25	110,50	275,39	16,59	100,21	120,79
P44/27	58,90	23,43	4,84	55,90	61,90
P44/32	76,30	10,46	3,23	74,30	78,30
K45/21	68,40	4,27	2,07	67,12	69,68
K45/26	95,50	12,72	3,57	93,29	97,71
K48/34	80,90	63,21	7,95	75,97	85,83
K48/37	98,10	42,77	6,54	94,05	102,15
A64/18	53,20	23,51	4,85	50,19	56,21
A64/26	101,00	17,33	4,16	98,42	103,58
A80/22	68,90	23,88	4,89	65,87	71,93
A80/28	91,60	48,49	6,96	87,28	95,92

Poznámka k tabulce 5: Byly naměřeny hodnoty tlaku vyjádřeného rozdílem hladin vodního sloupce. Ty byly statisticky zpracovány a dále použity pro následné výpočty.

Poznámka k tabulce 6: Byly naměřeny hodnoty tlaku při různých hodnotách průtoků pro každý vzorek. Ty byly statisticky zpracovány a dále použity pro následné výpočty.

Tab. P 6: Statistické zpracování měření středních pórů bublinkovou metodou

		měření za sucha					měření za mokra				
		aritmetický průměr	rozptyl	směrodatná odchylka	95%-ní interval spolehlivosti		aritmetický průměr	rozptyl	směrodatná odchylka	95%-ní interval spolehlivosti	
					horní mez	dolní mez				horní mez	dolní mez
P36/20	10	11,00	0,00	0,00	11,00	11,00	43,67	0,33	0,58	43,01	43,35
	14	17,33	0,33	0,58	16,68	17,01	53,33	2,33	1,53	51,60	53,94
	20	29,33	0,33	0,58	28,68	29,01	72,67	1,33	1,15	71,36	72,69
	30	59,00	1,00	1,00	57,87	58,87	111,67	0,33	0,58	111,01	111,35
	40	98,00	3,00	1,73	96,04	99,04	157,67	9,33	3,06	154,21	163,54
P36/25	50	152,00	1,00	1,00	150,87	151,87	222,67	10,33	3,21	219,03	229,36
P36/25	10	12,00	1,00	1,00	10,87	11,87	50,33	0,33	0,58	49,68	50,01
	14	19,67	1,33	1,15	18,36	19,69	64,00	0,00	0,00	64,00	64,00
	20	33,33	2,33	1,53	31,60	33,94	84,67	0,33	0,58	84,01	84,35
	30	66,67	4,33	2,08	64,31	68,64	130,67	0,33	0,58	130,01	130,35
P44/27	40	110,00	3,00	1,73	108,04	111,04	182,00	1,00	1,00	180,87	181,87
	50	168,33	37,33	6,11	161,42	198,75	244,67	0,33	0,58	244,01	244,35
P44/27	10	9,00	0,00	0,00	9,00	9,00	24,67	0,33	0,58	24,01	24,35
	14	14,33	0,33	0,58	13,68	14,01	29,67	0,33	0,58	29,01	29,35
	20	25,00	0,00	0,00	25,00	25,00	50,33	0,33	0,58	49,68	50,01
P44/32	30	52,00	3,00	1,73	50,04	53,04	70,67	0,33	0,58	70,01	70,35
	40	87,67	0,33	0,58	87,01	87,35	113,00	1,00	1,00	111,87	112,87
P44/32	50	139,00	1,00	1,00	137,87	138,87	166,33	0,33	0,58	165,68	166,01
	10	8,67	0,33	0,58	8,01	8,35	30,67	0,33	0,58	30,01	30,35
	14	14,67	0,33	0,58	14,01	14,35	36,00	1,00	1,00	34,87	35,87
P44/32	20	25,00	0,00	0,00	25,00	25,00	51,33	0,33	0,58	50,68	51,01
	30	52,00	0,00	0,00	52,00	52,00	82,67	0,33	0,58	82,01	82,35
K45/21	40	88,00	7,00	2,65	85,01	92,01	122,67	0,33	0,58	122,01	122,35
	50	141,00	13,00	3,61	136,92	149,92	176,00	0,00	0,00	176,00	176,00
K45/21	10	9,00	0,00	0,00	9,00	9,00	29,00	0,00	0,00	29,00	29,00
	14	15,00	1,00	1,00	13,87	14,87	35,33	1,33	1,15	34,03	35,36
	20	25,00	0,00	0,00	25,00	25,00	49,33	0,33	0,58	48,68	49,01
K45/26	30	52,00	0,00	0,00	52,00	52,00	77,00	0,00	0,00	77,00	77,00
	40	88,67	1,33	1,15	87,36	88,69	114,00	0,00	0,00	114,00	114,00
K45/26	50	141,33	4,33	2,08	138,98	143,31	171,67	2,33	1,53	169,94	172,27
	10	10,00	0,00	0,00	10,00	10,00	34,00	1,00	1,00	32,87	33,87
	14	15,67	0,33	0,58	15,01	15,35	40,67	0,33	0,58	40,01	40,35
K45/34	20	26,67	0,33	0,58	26,01	26,35	55,00	1,00	1,00	53,87	54,87
	30	53,67	1,33	1,15	52,36	53,69	84,00	4,00	2,00	81,74	85,74
K48/37	40	92,00	3,00	1,73	90,04	93,04	123,00	13,00	3,61	118,92	131,92
	50	145,33	2,33	1,53	143,60	145,94	180,67	0,33	0,58	180,01	180,35
K48/37	10	9,33	0,33	0,58	8,68	9,01	31,33	0,33	0,58	30,68	31,01
	14	14,00	0,00	0,00	14,00	14,00	39,67	4,33	2,08	37,31	41,64
K48/37	20	26,33	2,33	1,53	24,60	26,94	54,33	6,33	2,52	51,49	57,82
	30	52,33	0,33	0,58	51,68	52,01	87,00	1,00	1,00	85,87	86,87
K48/37	40	88,67	0,33	0,58	88,01	88,35	126,00	0,00	0,00	126,00	126,00
	50	140,33	4,33	2,08	137,98	142,31	181,33	0,33	0,58	180,68	181,01
K48/37	10	9,67	0,33	0,58	9,01	9,35	38,00	1,00	1,00	36,87	37,87
	14	15,00	0,00	0,00	15,00	15,00	46,67	1,33	1,15	45,36	46,69
K48/37	20	26,67	0,33	0,58	26,01	26,35	61,33	0,33	0,58	60,68	61,01
	30	52,67	5,33	2,31	50,05	55,39	94,00	1,00	1,00	92,87	93,87
K48/37	40	91,33	1,33	1,15	90,03	91,36	134,00	13,00	3,61	129,92	142,92
	50	143,67	2,33	1,53	141,94	144,27	189,00	4,00	2,00	186,74	190,74
A64/18	10	9,33	0,33	0,58	8,68	9,01	23,00	3,00	1,73	21,04	24,04
	14	14,33	0,33	0,58	13,68	14,01	28,67	0,33	0,58	28,01	28,35
A64/18	20	25,33	0,33	0,58	24,68	25,01	42,67	1,33	1,15	41,36	42,69
	30	52,33	0,33	0,58	51,68	52,01	70,00	4,00	2,00	67,74	71,74
A64/18	40	87,00	1,00	1,00	85,87	86,87	106,00	1,00	1,00	104,87	105,87
	50	139,33	0,33	0,58	138,68	139,01	158,00	63,00	7,94	149,02	212,02
A64/26	10	10,00	0,00	0,00	10,00	10,00	36,67	2,33	1,53	34,94	37,27
	14	15,67	0,33	0,58	15,01	15,35	43,67	2,33	1,53	41,94	44,27
A64/26	20	27,33	0,33	0,58	26,68	27,01	58,67	2,33	1,53	56,94	59,27
	30	54,33	0,33	0,58	53,68	54,01	89,00	16,00	4,00	84,47	100,47
A64/26	40	94,00	1,00	1,00	92,87	93,87	129,33	8,33	2,89	126,07	134,40
	50	147,33	1,33	1,15	146,03	147,36	185,33	6,33	2,52	182,49	188,82
A80/22	10	9,00	0,00	0,00	9,00	9,00	18,00	61,00	7,81	9,16	70,16
	14	14,00	0,00	0,00	14,00	14,00	25,33	56,33	7,51	16,84	73,17
A80/22	20	25,00	0,00	0,00	25,00	25,00	37,33	70,33	8,39	27,84	98,18
	30	51,67	0,33	0,58	51,01	51,35	66,33	60,33	7,77	57,54	117,88
A80/22	40	88,00	0,00	0,00	88,00	88,00	102,00	109,00	10,44	90,19	199,19
	50	140,67	1,33	1,15	139,36	140,69	157,33	89,33	9,45	146,64	235,97
A80/28	10	10,00	0,00	0,00	10,00	10,00	28,33	133,33	11,55	15,27	148,60
	14	14,33	0,33	0,58	13,68	14,01	34,67	162,33	12,74	20,25	182,58
A80/28	20	26,00	1,00	1,00	24,87	25,87	49,00	193,00	13,89	33,28	226,28
	30	53,00	1,00	1,00	51,87	52,87	80,33	310,33	17,62	60,40	370,73
A80/28	40	89,33	0,33	0,58	88,68	89,01	116,67	321,33	17,93	96,38	417,72
	50	142,00	4,00	2,00	139,74	143,74	171,67	262,33	16,20	153,34	415,67

# Statistické zpracování měření na obrazové analýze

Tab. P 7: Statistické zpracování měření šířek pórů mezi osnovními nitěmi

	Aritmetický průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	95%-ní interval spolehlivosti	
				horní mez	dolní mez
P36/20	21,61	4,96	24,60	22,19	21,03
P36/25	21,59	5,46	29,84	22,22	20,95
P44/27	47,09	3,75	14,07	47,53	46,66
P44/32	36,72	6,79	46,06	37,51	35,93
K45/21	6,52	3,74	13,96	6,96	6,08
K45/26	8,074	3,46	11,99	8,48	7,67
K48/37	33,64	3,41	11,66	34,04	33,24
K48/34	32,46	3,29	10,89	32,84	32,07

Tab. P 8: Statistické zpracování měření šířek pórů mezi útkovými nitěmi

	Aritmetický průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	95%-ní interval spolehlivosti	
				horní mez	dolní mez
P36/20	142,86	4,36	18,98	143,36	142,35
P36/25	92,37	7,23	52,33	93,21	91,53
P44/27	89,67	19,11	365,05	91,89	87,45
P44/32	49,21	4,70	22,13	49,76	48,67
K45/21	112,66	4,74	22,45	113,21	112,11
K45/26	72,60	5,26	27,68	73,21	71,99
K48/37	35,78	4,42	19,54	36,30	35,27
K48/34	23,58	3,29	10,85	23,96	23,20

Tab. P 9: Statistické zpracování měření šířek osnovních nití

	Aritmetický průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	95%-ní interval spolehlivosti	
				horní mez	dolní mez
P36/20	249,85	6,85	46,92	250,64	249,05
P36/25	245,06	5,63	31,73	245,71	244,41
P44/27	165,61	5,80	33,68	166,28	164,93
P44/32	263,16	7,43	55,21	264,02	262,29
K45/21	208,99	4,77	22,71	209,55	208,44
K45/26	206,26	4,40	19,34	206,78	205,75
K48/37	155,68	4,11	16,86	156,16	155,20
K48/34	240,37	5,71	32,60	241,03	239,70

Tab. P 10: Statistické zpracování měření šířek útkových nití

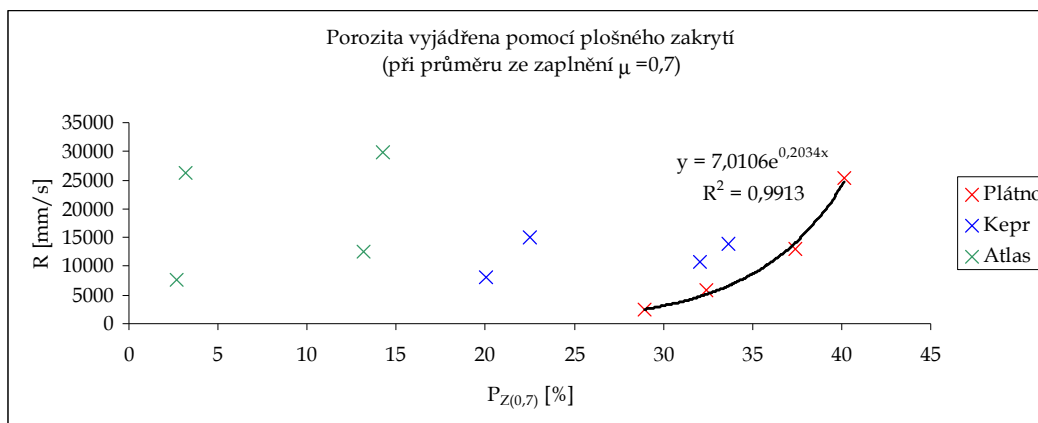
	Aritmetický průměr	směrodatná odchylka	rozptyl	95%-ní interval spolehlivosti	
				horní mez	dolní mez
P36/20	360,61	6,82	46,46	361,40	359,82
P36/25	314,88	5,73	32,88	315,54	314,21
P44/27	177,10	4,54	20,65	177,63	176,57
P44/32	254,77	5,23	27,35	255,38	254,16
K45/21	357,21	6,23	38,75	357,93	356,49
K45/26	318,17	4,73	22,37	318,72	317,62
K48/37	157,81	3,35	11,19	158,20	157,42
K48/34	253,06	4,66	21,76	253,60	252,52

Poznámka k tabulkám 7 až 10: Byly naměřeny šířky nití a pórů mezi nimi. Ty byly statisticky zpracovány a dále použity pro následné výpočty. Hodnoty pro tkaniny v atlasových vazbách se z důvodů jejich vysokých dostav nepodařilo naměřit.

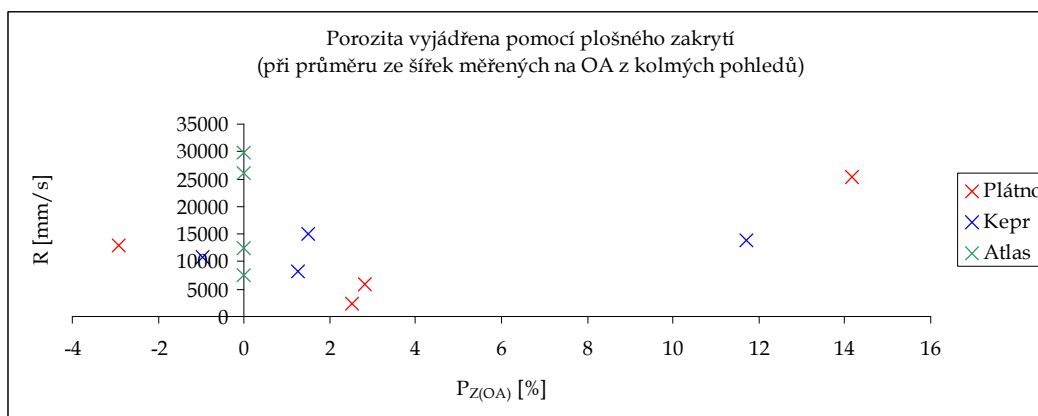
## **Příloha 2**

**Grafické znázornění závislostí prodyšnosti a porozity**

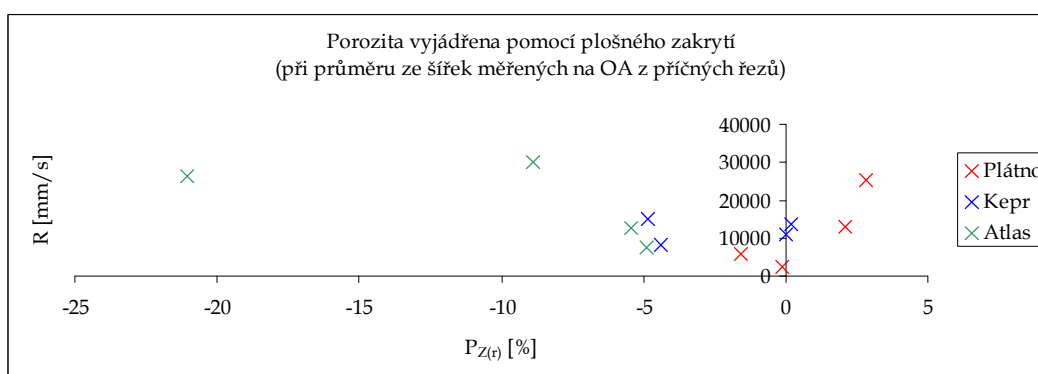
# Závislost prodyšnosti na porozitě vyjádřené z plošného zakrytí



**Obr. P 1: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{Z(0,7)}$**

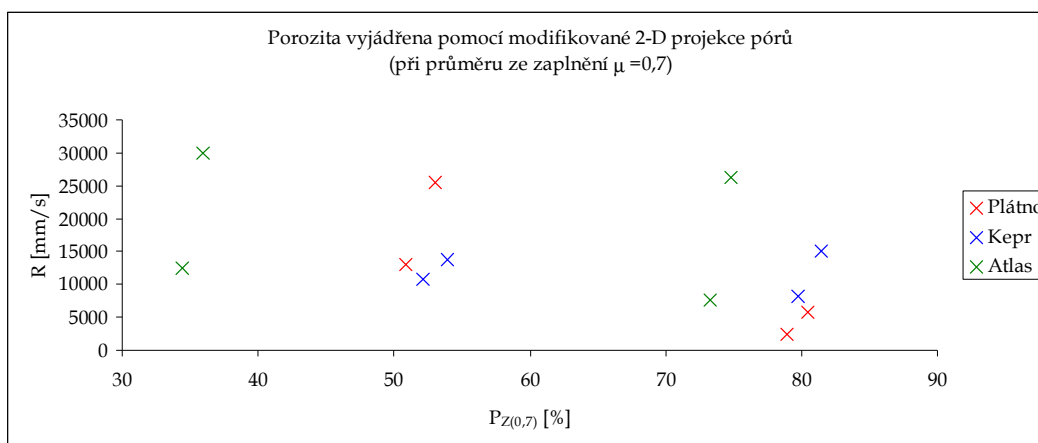


**Obr. P 1: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{Z(OA)}$**

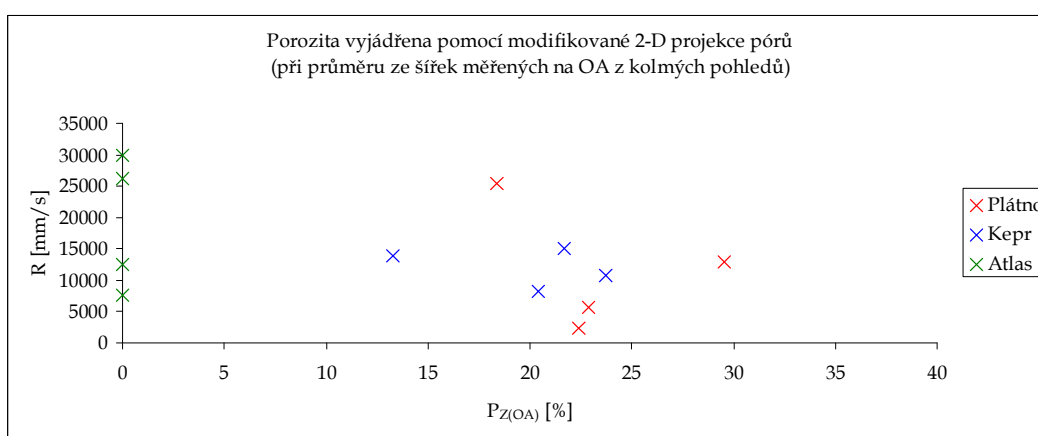


**Obr. P 3: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{Z(r)}$**

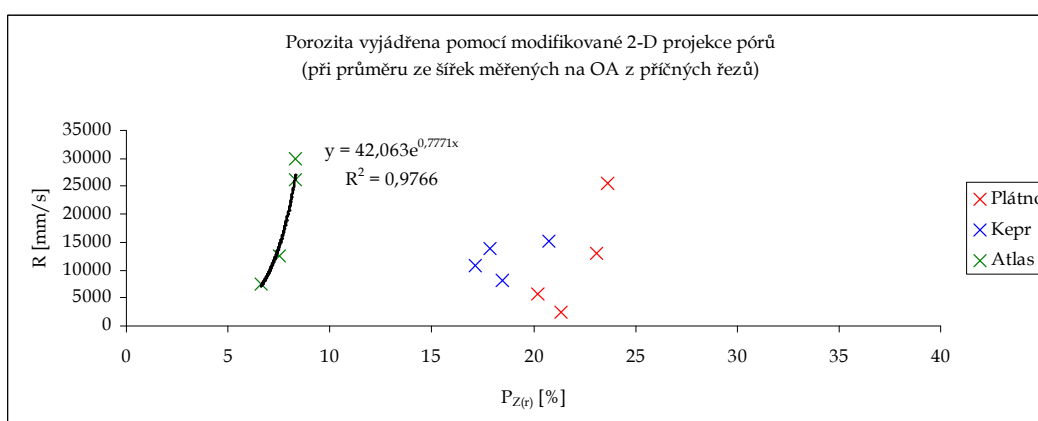
# Závislost prodyšnosti na porozitě vyjádřené pomocí modifikované 2-D projekce pórů



Obr. P 4: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{2D(0,7)}$

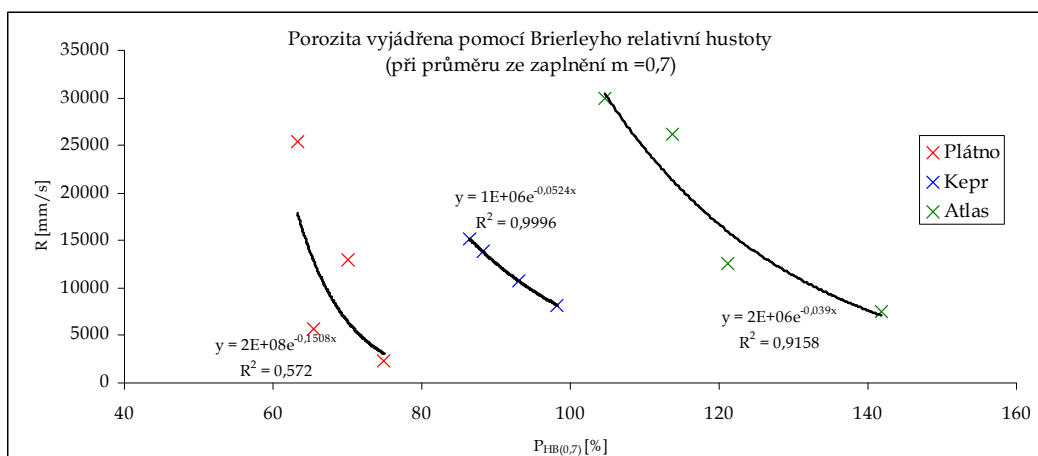


Obr. P 5: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{2D(OA)}$

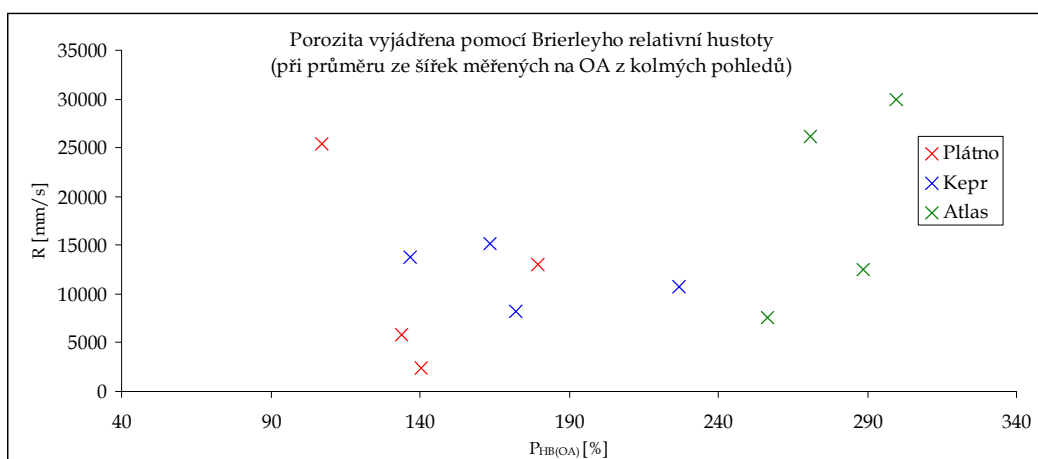


Obr. P 6: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{2D(r)}$

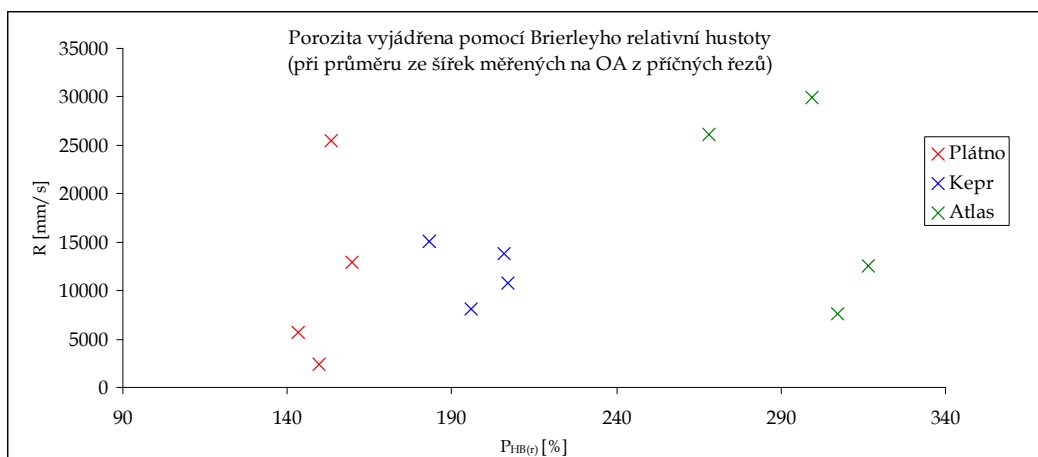
# Závislost prodyšnosti na porozitě vyjádřené pomocí Brierleyho relativní hustoty



**Obr. P 7: Grafická závislost prodyšnosti na plnosti  $P_{HB(0,7)}$**



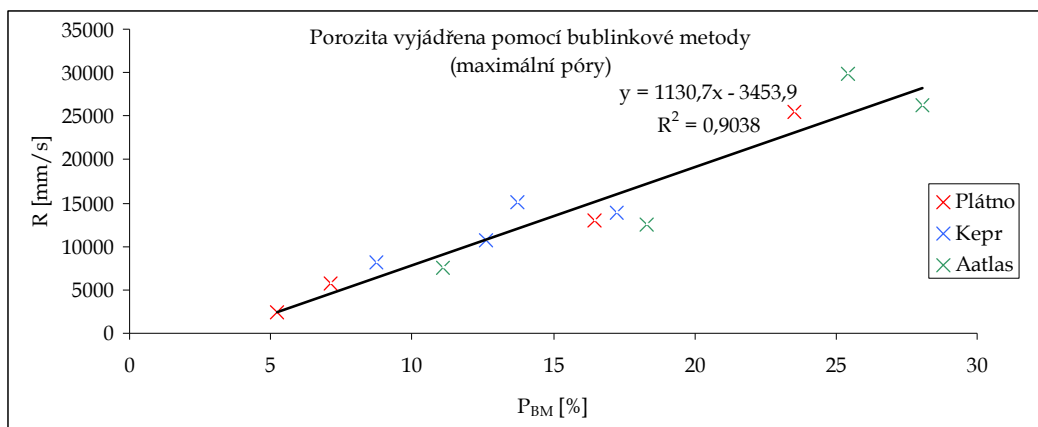
**Obr. P 8: Grafická závislost prodyšnosti na plnosti  $P_{HB(OA)}$**



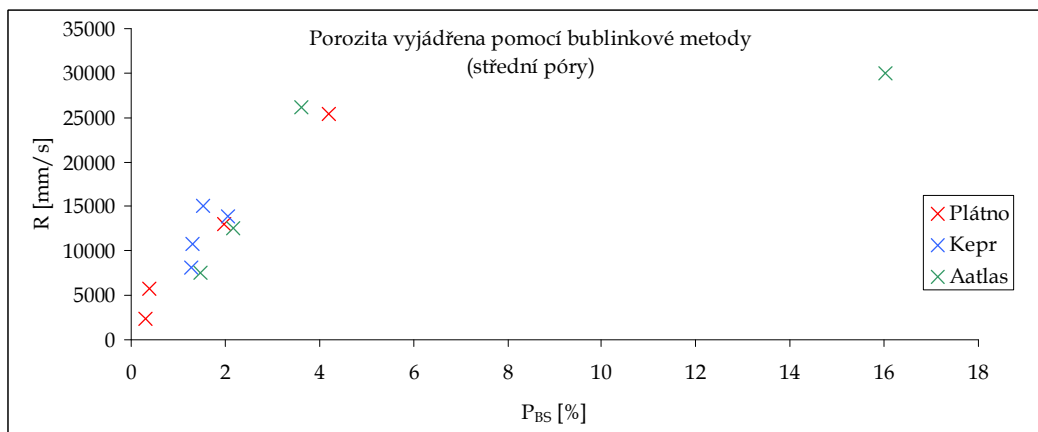
**Obr. P 9: Grafická závislost prodyšnosti na plnosti  $P_{HB(r)}$**



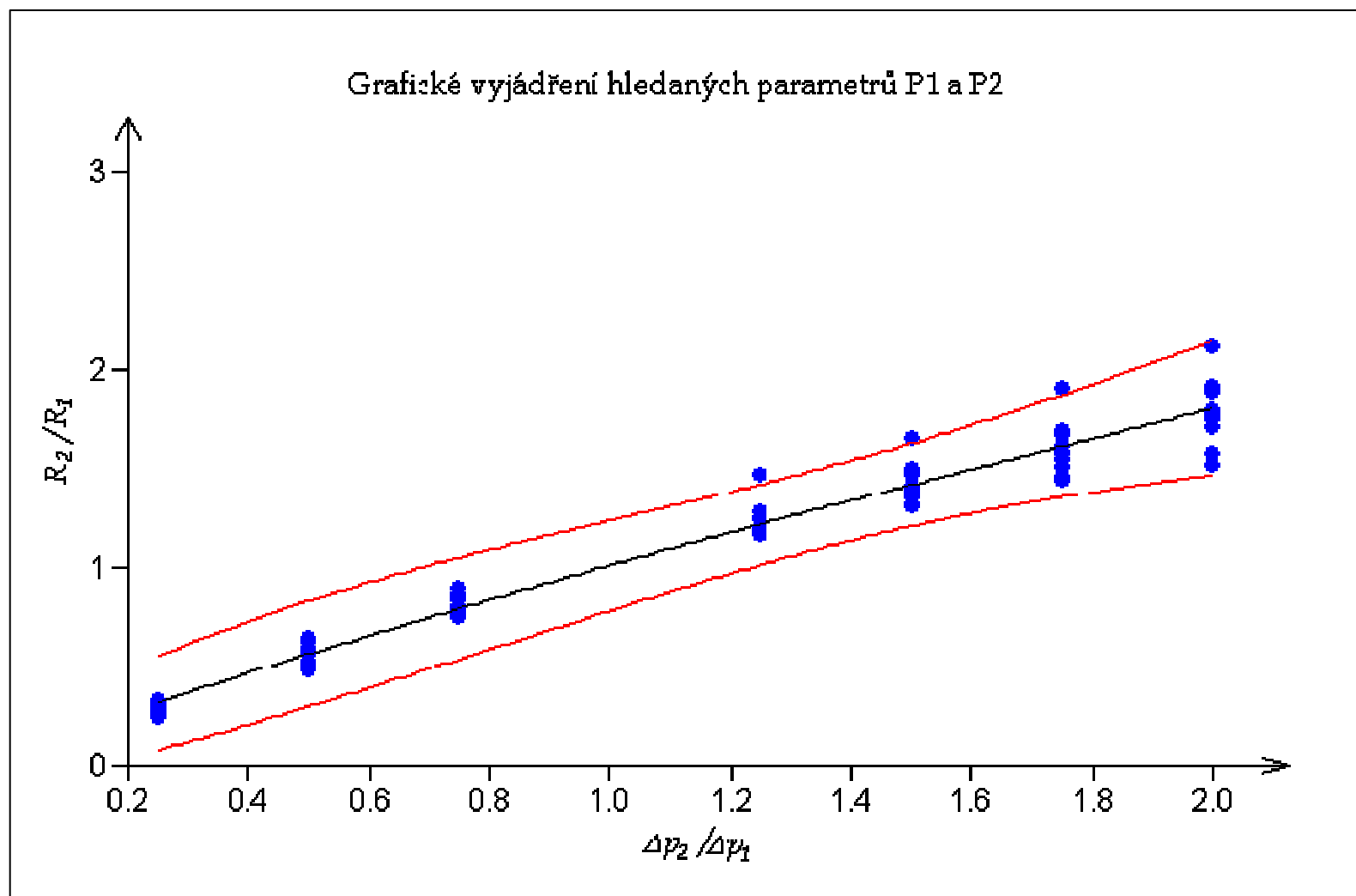
## Závislost prodyšnosti na porozitě naměřené bublínkovou metodou



**Obr. P 10: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{BM}$**



**Obr. P 11: Grafická závislost prodyšnosti na porozitě  $P_{BS}$**



Obr. P 12: Grafické vyjádření regresní závislosti pro nalezení parametrů P1 a P2